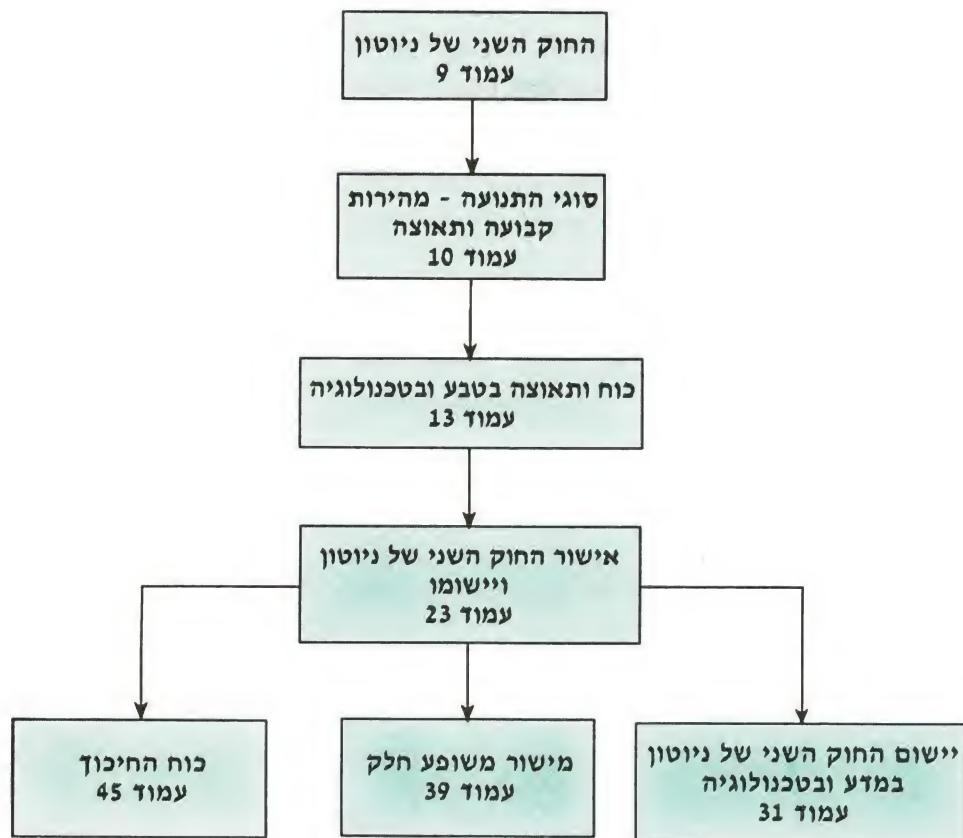


# פרק 1: החוק השני של ניוטון

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום נושא הלימוד אתה אמור:

- .1. להכיר את הקשר בין הכוח והतואצת.
- .2. להכיר את הקשר בין התואצת ובין המסה.
- .3. לדעת את החוק השני של ניוטון.
- .4. לדעת כיצד מיושם החוק השני של ניוטון בכוחות המשיכה על פני כדור הארץ ועל הירח.
- .5. לדעת כיצד מיושם החוק השני של ניוטון בעקבות טכנולוגיות.
- .6. לדעת כיצד לטפל בכוחות חיכוך.
- .7. לדעת כיצד לפתור בעיות של תנועה במישור משופע.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנים הרשו.



## 1. א. סוגי התנועה - מהירות קבועה ותואוצה

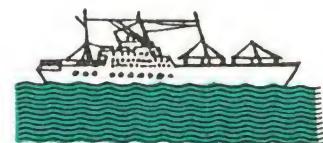
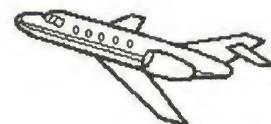
התבונן בגופים הנעים סביבך: מכוניות ואופניים נעים על הכבישים. מטוסים ומוסקים טסים באוויר. אוניות וסירות מושיות בלב ים ובנהרות. יתכנו שני סוגי של תנועה: האחת ב מהירות קבועה, והשנייה ב מהירות משתנה.



תנועה תהיה בתואוצה (חויבית) כאשר מהירותה (תגדל/תקטן/תישאר קבועה). תנועה בתואוצה [תואוצה (שלילית/חויבית/אפס)] תתקיים כאשר מהירותה (תגדל/תקטן/תישאר קבועה).

לפניך מצבי תנועה של גופים שונים (עמודה 1 בטבלה). אפיון כל אחד מצבי התנועה. מלא את עמודה 2 בטבלה; את עמודה 3 מלא בהגיעך לסעיף 1.א.5.

3	2	1
הכוח שגורם לתנועה זו	סוג התנועה (תואוצה/תאוצה/ מהירות קבועה)	מהות התנועה
5	4	הרמת משקלות מהקרקע
7	6	נעיצת מסמר בקיר
8	מהירות קבועה	אופנוע נושא, כאשר מהוגה מהירות מראה בקיבועת 80 ק"מ/שעה
10	9	מכוניות ברמזור, כאשר הרמזור האדום מוחלף לירוק
12	11	מכונית מתקרבת לרמזור אדום
14	13	שחין בתחילת דרכו



ציור 1:  
תנועותם של כלי רכב

נסכם:

קיימים שני סוגי של תנועה:

- ב מהירות קבועה;
- ב בתואוצה ( מהירות משתנה).



לפניך **זמן** או רשם **זמן**. ניסוי מכ' 31. חבר אותו למתח חילופין של 6 וולט. זרם החשמל העובר דרך הזרם גורם לו להקיש בקצת קבוע. מרוחה הזמן שבין כל שתי נקודות סמוכות (עוקבות) הוא 0.02 0.02. זמן זה נקבע על-פי הזמן הדרוש לשינוי כיוון זרם החילופין. שניות. זמן זה נקבע על-פי הזמן הדרוש לשינוי כיוון זרם החילופין.

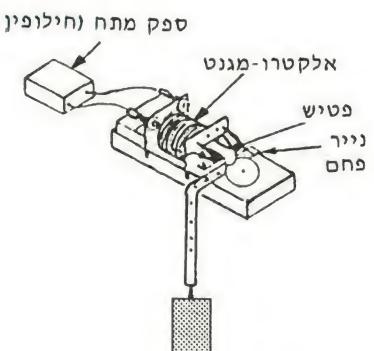
הפסיק את פעולות הזמן.

קח את הזמן וקבע אותו בגובה של כ-1 מ' מעל פני הקרקע. העבר סרט נייר דרך חריצי הזמן ומתחת לניר הפהם (קופי). הדבק את סרט הנייר למשקולת. משוך את הניר כלפי מעלה כך שהמשקולת תיצמד אל הזמן. במצב זה, רובו של סרט הנייר ישתלשל מאחוריו הזמן (ציפור 2).

הפעל את הזמן ושחרר את המשקולת כך שתיפול ארضا. תנועת המשקולת נקראת נפילת חופשית.



מכ' 31



ציפור 2:

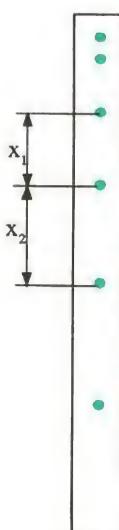
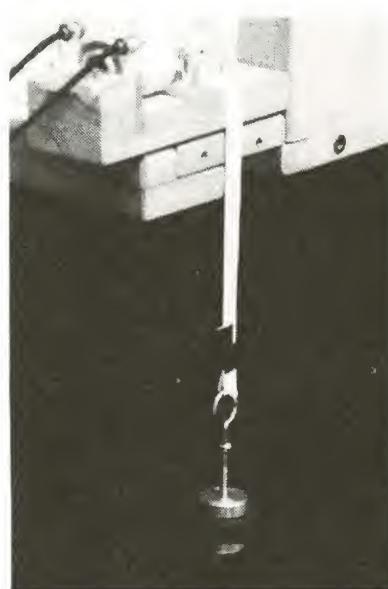
תאוצת משקלת  
הנעה כלפי הקרקע

על סרט הנייר מסומנות עתה נקודות. בחר מרוחה שבין 2 נקודות

עוקבות (ציפור 3) וסמן את המרחק בין 2 הנקודות ב- $x_1$ - $x_2$ .  
אורךו של  $x_1$  הוא:  $x_1$  ס"מ. המרוחה שאחורי הוא  $x_2$  ס"מ. אורךו של  $x_2$  הוא  $x_2$  ס"מ. הזמן שבו נעה המשקולת בשני המרוחים היה  $x_3$  (שווה/שונה). לכן מהירות במרוחה  $x_2$   $x_2$  (גדולה/קטנה) מהמהירות במרוחה  $x_1$ .

אם נתבונן היטוב, נראה כי מהירותו בין מרוחה אחד לבא אחורי הולכות ו-  $x_4$  (גדלות/קטנות).

מסקנה: המשקולת נעה ב-  $x_5$  (תאוצה/מהירות  
קבועה/תאוצה).



ציפור 3:

הסימונים על סרט הנייר,  
המתבללים בנפילת  
חופשית

5. מה גורם למשkolת ולסרטן הניר לנوع בתאוצה?  
 פעל עליהם \_\_\_\_\_ (זרם חשמלי/כוח).  
 מסקנה: התאוצה נגרמה על ידי כוח.

חוור לטבלה שבסעיף 1.a 2 ורשות בעמודה 3 מהו הכוח שגורם לתנועות המואצות הרשומות בעמודה 1.



נכיס:

קיים תנועה בתאוצה דרוש כוח.



## 1.ב כוח ותאוצה בטבע ובטכנולוגיה

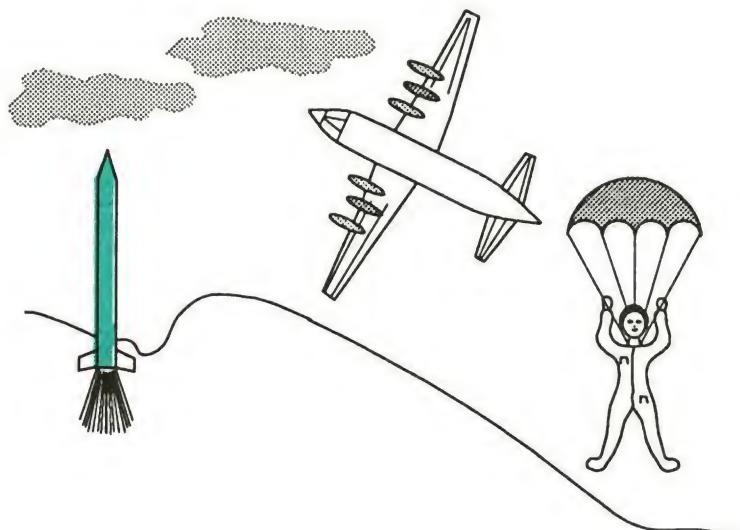
1. אחד הכוחות השכיחים ביותר הוא כוח <sup>1</sup> (המשיכה/הדחיה/המגע) של כדור הארץ. כוח זה פועל תמיד בכיוון <sup>2</sup> (אנכי/אופקי) <sup>3</sup> (צפונה/מזרחה/מעלה/מטה). בניסוי שביצעת, פעל כוח המשיכה על המשקולת והיא נעה <sup>4</sup> (בתאוצה/במהירות קבועה) כלפי מטה.

2. רשום אייזו מבין התנויות שלහן נגרמת על ידי כוח המשיכה של כדור הארץ (ציור 4).

1. ברד יורד <sup>5</sup> (כן/לא)
2. מטוס ממריא <sup>6</sup> (כן/לא)
3. צנחן נופל בצע Nicha חופשית <sup>7</sup> (כן/לא)
4. טיל המשוגר כלפי מעלה <sup>8</sup> (כן/לא)
5. תיבת מטען משליך על מדרון משופע <sup>9</sup> (כן/לא)
6. לבה גולשת מפגת הר געש <sup>10</sup> (כן/לא)



כוח המשיכה של כדור הארץ גורם לתנועה מואצת.

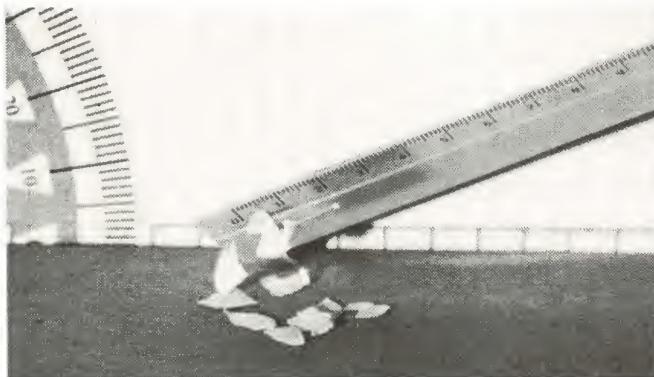


ציור 4.  
חלק מתנויות אלה  
נגרם על ידי כוח המשיכה

ב.1

שפשף את קצה מוט הפלסטיκ שבדיך בעזרת מטילת (ציר 5). פזר על גבי שולחן פיסות נייר דקות. קרב את קצה המוט המשופשף אל פיסות הנייר. תאר את המתרחש:

פיסות הנייר היו תחילת במנוחה. לאחר קירוב המוט הן היו בתנועה. לכן, הן נעו ב (מהירות קבועה/תאוצה). הכוח שהפעלת הוא כוח חשמלי.



הכוח החשמלי גורם לתאוצה.

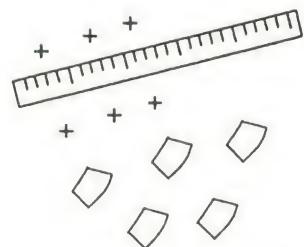


מכ' 32

.3



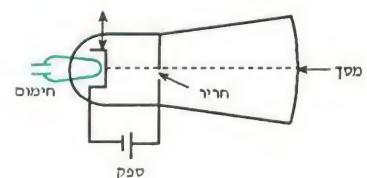
מכ' 32



ציר 5:  
כוח חשמלי מופעל  
על פיסות נייר

האור המרצד על מסך הטלויזיה נוצר כתוצאה מפגיעה אלקטטרונים בו. האלקטרונים עצם, לפני פגיעתם במסך, מואצים על ידי כוח חשמלי.

התכוון בצייר 6. האלקטרונים יוצאים ממתכת A ומואצים על-ידי כוח (חסמי/מגנטי/גרעיני) עד מתכת B. משם הם עוברם דרך החירור במהירות קבועה אל המסך.



ציר 6:  
תנועת אלקטטרונים  
במנורת המסך

הכוח החשמלי גורם לתאצת אלקטטרונים.



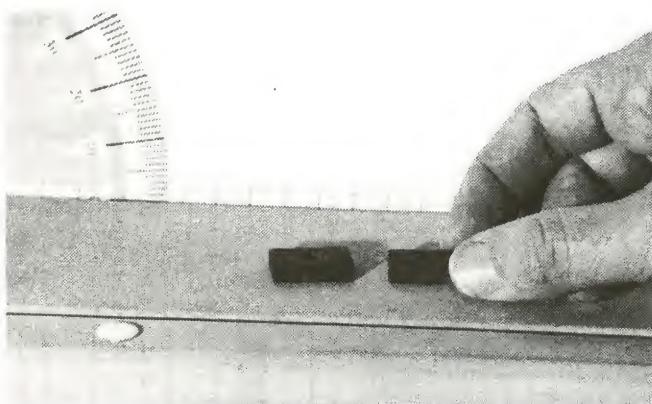
ב.1

קרב את צדו הצפוני של מוט מגנטי שברשותך אל צדו הדרומי של מוט מגנטי אחר, המונח על השולחן (ציור 7).

תאר מה קורה:

הפרד את המגנטיים והפוך אחד מהם לצדו השני. עתה קרב קצה זה אל המגנטי השני, ככלומר צפון אל צפון או דרום אל דרום (דרום/צפון). תאר מה קורה:

כוח מגנטי הוא כוח <sup>3</sup> (מגע/דחיה) ומשיכה. על המוט המונח על השולחן פועל כוח <sup>4</sup> (חשמלי/גרעיני/מגנטי). מוט זה היה תחילת <sup>5</sup> (בתנועה/במנוחה), ולאחר מכן הוא נע. ככלומר, הייתה לו תנועה.

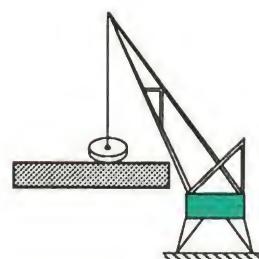


מכ' 33



ציור 7:  
כוחות מגנטיים

כוחות מגנטיים כאלה מופעלים במפעלי ברזל ופלדה. כדי להעלות גROUTאות ברזל אל קצה עגורן (ראה ציור 8), משתמשים במגנטי חזק. המגנטי נוצר על ידי זרם חשמלי (אלקטرومגנטי). הכוח המגנטי גורם לגרוטאות לנעו מפני הкрепע בתאוצה <sup>6</sup> (כלפי מעלה/הצדיה/כלפי מטה).



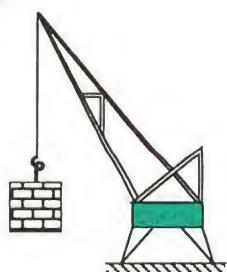
ציור 8:  
כוחות מגנטיים בתעשייה

ברזל ופלדה נעים בתאוצה כאשר מופעל עליהם כוח מגנטי.



מכונות ומכוניות

העגורן נקרא בשם זה על שם דמיונו לעוף העגור. הכבול שבקצתה העגורן (ציור 9) מושך את המשא כלפי מעלה. הכבול מפעיל כוח על המשא שנמצא תחילת על הкрепע ב <sup>7</sup> (מנוחה/תנועה). לאחר שהכבול מושך את המשא כלפי מעלה, המשא ניתק <sup>8</sup> (בתאוצה/במהירות קבועה).

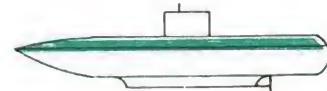
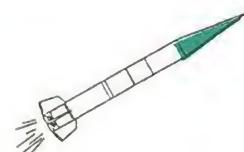


ציור 9:  
עגורן

8. תנועה מוצעת מתקיימת בעיקר בתחבורה ביבשה, באוויר ובים.  
 לתנועה זאת דרושה <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (מרחק/ מהירות/ כוח).  
 הכוח מופעל לרוב על-ידי מנוע הרכב.  
 לפניך טבלה ובה רשימת כלי תחבורה. מלא אותה על-פי דוגמת הטיל.

מספר	כיוון התאוצה (מעלה, קדימה)	סוג המנוע (בנזין, חשמל, קיטור וכו')	סוג כלי התחבורה
3			מנונית
6			מטוס
7	מעלה	דלק מוצק	טיל
8			חולצת גרעינית

כל המנועים הללו יוצרים על כלי התחבורה כוח, והכוח גורם לתאוצה.



צייר 10:  
כלי תחבורה

נסכם:

תאוצה נגרמת על ידי כוח.



## 1. ג. הקשר בין כוח, מסה ותאוצה

1. שני נהגים קנו במשותף מכונית "טרנטה" משומשת. "אי אפשר להתנייע את המכונית הבודק" קבע האחד. "למדנו" ענה השני, הידוע שביניהם, "שכח גורם לשינוי במהירות - לתאוצה. שב ליד ההגה ואני אדחוף את המכונית בכוח זרועותי. המכונית תנוע <sup>1</sup> (במהירות קבועה/בתאוצה). כאשר תגע המכונית למהירות מסוימת גדולה תתנייע אותה על ידי הכנסה הפתאומית להילוך שניי".

וכך היה. לאחר **שתי זיקות** הייתה המכונית מותנתה. באחד הימים, אספו הנהגים ידיד לטיפול במכוניתם. והנה, לרוע המזל, שוב לא הצליחו להתנייע את המכונית הסוררת.

"מהו לעשות?" שאל הידיד.  
"לדחוף, לדחוף" ענו לו השניים.

הידיד והידען דחפו יחדיו את המכונית כאשר הידען ממלמל לעצמו: "שנינו דוחפים **את** המכונית באותו כוח. لكن הכוח שפועל על המכונית הוא <sup>2</sup> (כפול/פי שלושה) מאשר בפעם הקודמת".

תווך דקה הגיעו המכונית ל מהירות שהושגה בפעם הקודמת, ככלומר התאוצה הייתה <sup>3</sup> (שווה ל/מחצית מ/כפולה מ) התאוצה הקודמת.



מסקנה:

כוח כפול גורם לתאוצה כפולה (כאשר המסה נשארת קבועה).



2. למכוניות המופיעות בטבלה 1 להלן, אותה מסה. לכל אחת מהמכוניות מנעו שונה, המפעיל על כל אחת מהן כוח אחר. כתוצאה מהפעלת הכוח יש **למכוניות** <sup>4</sup> ( מהירות קבועה/ תאוצה) שונה.

טבלה 1: כוח המנעו וההתאוצה של מכוניות בעלות אותה מסה

סוג המכונית	כוח (ניוטון)	תאוצה (מטר/שניה <sup>2</sup> )	היחס בין הכוח לתאוצה
וולבו 2.0	2500	2	1250
רנו טורבו קוואדרה	4387.5	3.51	5
טורבו מיזוביישי אקליפס	4926.5	3.97	6
פורד סיירה קוודורט טורבו	5337.5	4.27	7

3. התבונן בטבלה 1. המכוניות מסודרות על-פי חזק (הגילגים/גילג התנופה/המנוע) <sup>1</sup> שלן. ככל שהמנוע חזק יותר כך הוא מפעיל על המכונית כוח <sup>2</sup> (גודל/קטן) יותר. מכיון <sup>3</sup> הטבלה רואים שככל שהכוח גדול יותר, או המנוע <sup>3</sup> (חלש/חזק) יותר, כך התאוצה <sup>4</sup> (גדלה/קטנה) יותר.

מצא עבור כל מכונית מהו היחס בין הכוח לתאוצה ורשום את התוצאה בעמודה המתאימה. לדוגמה, עבור וולבו 2.0, היחס בין הכוח לתאוצה הוא:

$$\frac{2500}{2} = 1250$$

5. תוצאה של חילוק נתנת גודל <sup>5</sup> (משתנה/קבוע), והוא <sup>6</sup>  $(1500/1000/1250)$ .



6. עבור כל המכוניות קיבלנו יחס <sup>7</sup> (שווה/שונה) בין כוח המנוע <sup>8</sup> (מהירות/תאוצה/מרחק התנועה של המכונית).

7. קלומר קיימים יחס <sup>9</sup> (הפקיד/ישר/עליה/ירוד) בין הכוח <sup>10</sup> וההתאוצה. וכך ככל שהכוח הפועל על אותה מסה גדול, כך <sup>11</sup> (גדלה/קטנה) התאוצה.

8. האם יש לך איזו שהיא השערה בדבר משמעות התוצאה  $(1500/1000/1250)$  שקיבלתן? <sup>12</sup>



9. וולבו 2.0 כוח 2500 ניוטון

10. ככל שהכוח הפועל על מסה נתונה גדול, כך גדלה התאוצה.  
או:  
עבור מסה נתונה, התאוצה נמצאת ביחס ישיר לכוח.



11. נחזר למכונית של שני הנהגים. כאשר היא מלאה במסעים והדוחף <sup>13</sup> ה"מנוסה" דוחף אותה שוב באותו כוח כמוDEM, המכונית (צוברת, אינה צוברת) מהירותן כמו בעמיה הקודומות. מסת המכונית עם הנוסעים <sup>14</sup> (גדלה/קטנה/לא השתנה), וכך באותו כוח מקבלים תאוצה <sup>15</sup> (קטנה/גדולה) יותר. ככל שירבו במספר הנוסעים המסה <sup>16</sup> (תגדל/תקטן) וההתאוצה תהיה קטנה יותר.

17. ככל שהמסה גדלה התאוצה קטנה (כאשר הכוח קבוע).



6. תעשיית המכוניות מייצרת מנועים דומים. מנועים אלה מפעילים \_\_\_\_\_ ( מהירות/כוח) שווה.

מנועים אלה לא יגרמו בהכרח לאותה תואוצה של המכוניות, וזאת, מפני ש \_\_\_\_\_ ( גובה/המסה/האורך/שטח הפנים) של המכוניות אינה/אינו שווה. נדגים זאת לפניכם בסעיף הבא.

7. בטבלה 2 שלפניך רשימת מכוניות בעלות אותו סוג מנוע. המנועים מפעילים כאמור כוח שווה על מרכיב המכונית. למכוניות מסוימות ולכן גם \_\_\_\_\_ ( מהירות/תאוצות) שוות.

טבלה 2: תאוצות הנגרמות למכוניות על ידי כוח שווה

מספר	שם הרכיב	מסת המכונית (ק"ג)	תאוצה (מטר/שניה <sup>2</sup> )	מכפלת מסת בתאוצתה
4	פורד פיאסטה	835	2.87	2396
5	ולבבו 440	978	2.45	
6	פיאט כרומה	1109	2.16	
	פיזיו 505	1216	1.97	



8. מהטבלה עולה שמסת המכוניות הולכת ו \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה). תאוצת המכוניות על כן, הולכת ו \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה). במצב זה, ניתן שקיים יחס הפוך בין מסת המכוניות (בעלות אותו סוג מנוע) ובין תאוצתן. המנועים מפעילים כאמור כוח \_\_\_\_\_ (שונה/שווה) על מרכיב המכוניות.

牢记: יחס הפוך בין שני גדים קיים כאשר מכפלתם תמיד קבועה.

זכור:



9. נבדוק אם מכפלת מסת המכוניות בתאוצתן תיתן תמיד גודל \_\_\_\_\_ (קבוע/משתנה), כלומר שקיים בינהן יחס \_\_\_\_\_ (הפוך/ישר).

לדוגמה, לגבי פורד פיאסטה 1.6, המכונית הראשונה ברשימה:

$$2.87 \cdot 835 = 2396$$

המשך להכפיל ורשום את התוצאות בעמודה המתאימה בטבלה.  
המוצע של כל המכפלות הוא בערך 1 2396/2000 2 2500.



3 2 מכאן וואים, שככל שהמכונית כבדה יותר, ככלומר בעלת 3 4 (נפח/مسה/שטח פנים/גובה) גדולה/ה יותר, כך תאוצתה (קטינה/גדולה) יותר, וזאת כשבפועל עליה כוח קבוע של המנוע התואוצה מראות שקיים 5 4 (הפוך/ישר/משתנה) בין התואוצה למסה.

האם יש לך השערה בדבר משמעות התואוצה המוצעת 2396 5 6 שקיבלת?

התואוצה נמצאת ביחס הפוך למסה (כאשר הכוח קבוע).



9 בקיז, מבלים שני חברים הנהגים בים, ומנסים את מזלם ב"ינהיגה" על חסקה (סירה בעלת משוט אחד).  
לפתע, נטmeta החסקה מתחת ידם ויחלה לנوع לעבר קבוצת המתחרצים.  
כדי למנוע אסון שלחו שנייהם את ידיהם ומכוחות אדירים, המנוגדים לכיוון תנועת החסקה, האטו את מהירותה, עד שמש ליד המתחרצים היא עצמה, והסכנה חלפה.  
6 שוב השתמשו נייבורינו בכוח, אך הפעם כדי 7 8 (להגדיל/להקטין) את מהירות החסקה, ככלומר לגורום לתואוצה.



#### לסיכום:

כוח מנוגד לכיוון תנועתו של גוף גורם להקטנת מהירותו.  
כוח הפועל בכיוון תנועתו של גוף גורם להגדלת מהירותו.



10 האם שמעת אי פעם על משחק ששמו חבל?  
חבל הוא חיבור של שתי מילים: חבל ומעגל. במשחק זה מסובבים אופקית חבל שבקצתו קשורה אבן. האבן חייבת להסתובב במעגל ב מהירות שגודלה קבוע.

11. כרוך את הטבעת על אצבעך וסובב את הכדור שבקצה השני של החבל, ניסוי מכ' 34. השתדל שהוא ינוע ב מהירות שגדלה קבועה. התבונן בכדור המסתובב (צירור 11).

כיוון ה כדור <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (משתנה/נשאר קבוע) במשך כל זמן הסיבוב. כיוון תנועת ה כדור הוא תמיד בכיוון <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (מחוג ה/) קוטר ה/מיתר ה/משיק לו) מעגל. בנקודה A מהירות ה כדור היא בכיוון <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (אני מעלה/ אופקי ימינה).

בנקודה B מהירות ה כדור היא בכיוון <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (אני מטה/ אופקי ימינה). <sup>5</sup> כדי להתميد בתנועה המעלגית \_\_\_\_\_ (דרוש/לא דרוש) להפעיל כוח. לפי התחששה באצבע, ניכר שכיוון ה כוח הוא בכיוון מרכז המעלג. לדוגמה, כאשר ה כדור נמצא <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ בנקודה B התחששה היא שהאצבע מושכת את הטבעת בכיוון <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (אני מטה/ אני מעלה).

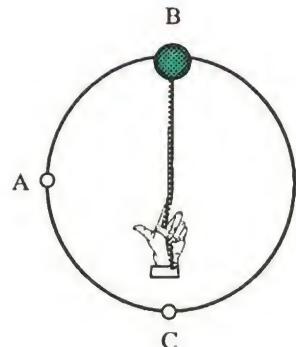
וכאשר ה כדור נמצא בנקודה C התחששה היא שהאצבע מושכת את הטבעת בכיוון <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (אני מטה/ אני מעלה). בתנועה במעגל דרוש כוח לקיום התנועה. ה כוח המכוון אל <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (היקף/מרכז) המעלג גורם לשינויו (גודל/כיוון) המהירות של הגוף המסתובב.



לשינויו כיוון מהירות של גוף דרוש כוח.



מכ' 34



צייר 11:  
תנועה מעגלית של כדור

12. נתונה מכונית הנעה במהירות שגודלה קבוע מסביב לכיכר עגולה (ציור 12). תנועת המכונית היא במסלול 1 (של קו ישר/מעגלי/של קו שבור). בתנועה זאת 2 (גודל/כיוון) המהירות משתנה. הכוח שנורם לשינוי כיוון תנועת המכונית הוא 3 כוח החיכוך. כוח זה מופעל על המכונית על ידי הכבש בכיוון 4 (מרכז/היקף) המעלג.



ציור 12:

מכונית נעה בסיבוב  
במהירות שגודלה קבוע

13. מי מאננו לא נהנה מסיבוב בקרוסלה? אנחנו היושבים בקצתה הקרוסלה נעים בתנועה 5 (מעגלית/בקו ישר). המהירות שלנו מכונה 6 (הרדיוס/הקוטר/הmittar/המשיק) של המעלג. כיוון זה 7 (קבוע/משתנה) במשך כל זמן התנועה. שינויי כיוון המהירות נגרם על ידי 8 (אנרגייה/כוח) הפעול על המושב בו אנחנו יושבים והמכוון/ת אל מרכז הסיבוב.



צייר 13:

קרוסלה. התנועה של היושב  
בها היא תנועה מעגלית

על גוף הנע בתנועה מעגלית, פועל כוח כלפי מרכז המעלג.



## 1.2 אישור החוק השני של ניוטון ויישומו

1. נחזר לטבלה מס' 1 שבסעיף 1.2.g.

על כל מכונית המצוינת בטבלה פועל כוח. כתוצאה מהפעלת כוח  $F$  על המכונית, היא נעה ב\_\_\_\_\_ (מהירות קבועה/תאוצה)

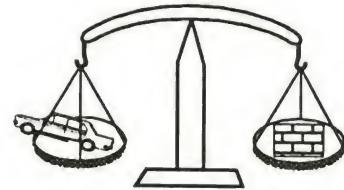
a. עבור מכונית המיציבishi קיבלנו:

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2} = a \quad (התאוצה)$$

ニוטון =  $F$  (הכוח שפועל עליה).

$$\frac{F}{a} = \text{_____} = \text{_____} \quad 4$$

חלוקת הכוח  $F$  בתאוצה נתן



זה גם היחס שבין הכוח  
لتאוצה

התוצאה שקיבלנו היא מסת המכונית  $m$ .  $\text{ק"ג} = m$ .

התוצאה זו קיבלנו עבור כל המכוניות, כי בחרנו מכוניות בעלות אותה/ו  $5$  (נפח/שטח פנים/ῆמה).

לסיום נאמר, שעבור מסות שוות נקבל יחס  $6$  (ישר/הפוך) בין הכוח  $F$  שפועל על המסות לבין התאוצות  $a$ .

$$\frac{F}{a} = m$$

ומהו הקשר שיש לבדוק כאשר המסות שונות? במצב זה עליינו

להפעיל על המכוניות כוח קבוע, וזו לבדוק את הקשר בין התאוצה  $a$  והמסה  $m$ .

התבונן עתה בטבלה 2 בסעיף 1.2.g.

עבור מכונית הולבו:

$$\text{ק"ג} = F \quad (מסת המכונית) \quad 7$$

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2} = a \quad (התאוצה) \quad 8$$

המכפלה של המסה  $m$  בתאוצה  $a$  היא:

$$m \cdot a = \text{_____} \cdot \text{_____} \quad 9$$

$$m \cdot a = \text{_____} \quad 10$$



התוצאה שקיבלנו היא הכוח  $F$  שפועל על המכוניות.

מהטבלה רואים, כי  $11$  (המכפלה/חלוקת) של מסת המכוניות בתאוצה  $a$  ננתנת תמיד גודל  $12$  (קבוע/משתנה), שהוא הכוח  $F$  שפועל על המכוניות.

התוצאה שקיבלנו היא:

התאוצה  $a$  נמצאת ביחס הפוך למסה  $m$  (בכוח קבוע), שרי  $13$  (חלוקת/מכפלה) המסה בתאוצה  $a$  נותן/ת גודל קבוע.

3. משתי הבעיות נוכל להסיק כי הכוח  $F$  הפועל על מסה  $m$  שווה (לחילוק/למכפלת/לחיבור/לחיסור) המסה  $m$  (ב/ל/מ) לתאוצה  $a$ . או:

$$F = m \cdot a$$



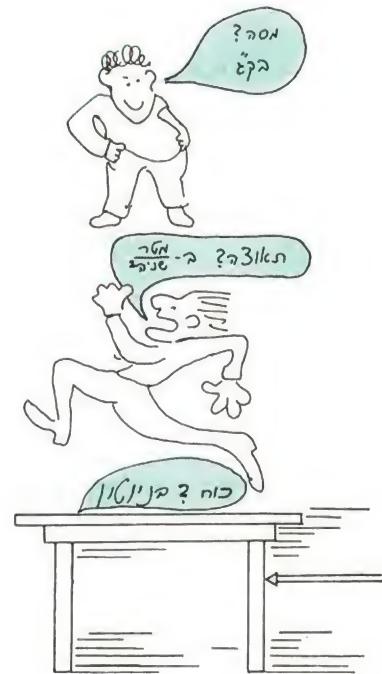
הכוח  $F$  הפועל על מסה  $m$  גורם לה לתאוצה  $a$ , כך שמכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  שווה לכוח  $F$ .  
עובדת זו מזכינה בחוק השני של ניוטון.

4. א. מסה מודדים בק"ג.  
ב. תאוצה מודדים ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$   
מכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  ננתן (כוח/מהירות/  $\frac{2}{2}$ ).

ג. את הכוח מודדים בניטון.

$$\text{מבחן ש: } 1 \text{ ק"ג} \cdot 1 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2} = 1 \text{ ניוטון.}$$

היחידה 1 ניוטון היא בערך הכוח שבו מושך כדור הארץ מסה של 0.1 ק"ג.



נסכם:

א. התאוצה  $a$  נמצאת ביחס ישיר לכוח  $F$ , עברו אותה מסה.  
ב. התאוצה  $a$  נמצאת ביחס הפוך למסה  $m$  עברו אותה כוח.  
ג. החוק השני של ניוטון מציין כי מכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  היא הכוח  $F$  הפועל עליה.  
ד. יחידת הכוח ניוטון שווה ל-  $1 \text{ ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$   
ה. כוח  $F$  קבוע הפועל על אותה מסה יגרום לה לנوع בתאוצה קבועה. תנעיתה תהיה תנעעה שווה לתאוצה.



נחות:

א. מכפלת מסת הגוף  $m$  בתאוצה  $a$  נותנת את  $\underline{\quad}$  (הכוח/  
המהירות/המרחק)  $F$ .



ב. במילויים אחרים, התאוצה  $a$  נמצאת ביחס  $\underline{\quad}$  (ישר/הפוך)  
לכוח  $F$  וביחס  $\underline{\quad}$  (ישר/הפוך) למסה  $m$ .

ג. מסה מודדים ב  $\underline{\quad}$   $\frac{4}{\text{מ}^3/\text{ק"ג}} / \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$ .

ד. תאוצה מודדים ב  $\underline{\quad}$   $\frac{5}{\text{מ}^2/\text{מטר}} / \frac{\text{שניה}}{\text{שניה}^2}$ .

ה. כוח מודדים ב  $\underline{\quad}$   $\frac{6}{\text{מטר/נьюטון/ק"ג}}$ .

ו. ניוטון הוא:  $\underline{\quad}$   $\frac{7}{\text{ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}}$ .

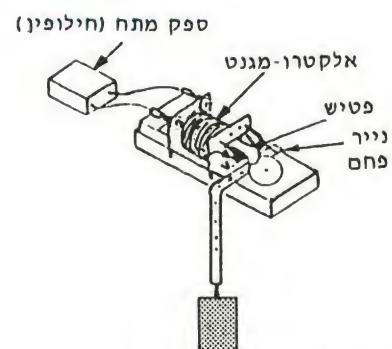
נישם את החוק השני של ניוטון  $ma = F$  עבור כוחות שונים הפעלים  
בטבע, בטכנולוגיה, במעבדה ובחני היום-יום.  
8  
הכוח השכיח ביותר על פני כדור הארץ הוא כוח  $\underline{\quad}$  (המשיכה/  
הדחיפה/המנט) שלו.

הניסוי שלפניך - מכ' 35, שכבר ביצעת אותו בניסוי מכ' 31, ידגים  
כיצד משפייע כוח המשיכה על הגוף שנעימים על פני כדור הארץ. הדק  
משקלות כבידה (2 ק"ג) לסרט נייר (צירור 14). את סרט הנייר העבר  
מתחת לנייר הפחם של הזמצם.  
הפעל את הזמצם במתח חילופין של 6 וולט והפל את המשקלות.  
מרוחץ הזמן שבין נקודת אחת לשניהם  $\underline{\quad}$  (משתנה/קבוע).  
התבונן בסרט הנייר. המרחקים בין נקודות הנקישה  $\underline{\quad}$  (נשארים קבועים/הולכים וגדלים/הולכים וקטנים). מכאן  
שהמשקלות שגוררה את סרט הנייר נעה ב  $\underline{\quad}$   $\underline{\quad}$  (מהירות/  
קבועה/תאוצה).

מדוד את מרחק המרוחץ  $\underline{\quad}$  בין נקישה אחת לעוקבת לה, ולאחר-כך  
את מרחק המרוחץ  $\underline{\quad}$  שלאחריו, וכן הלאה (ראה צירור 15).



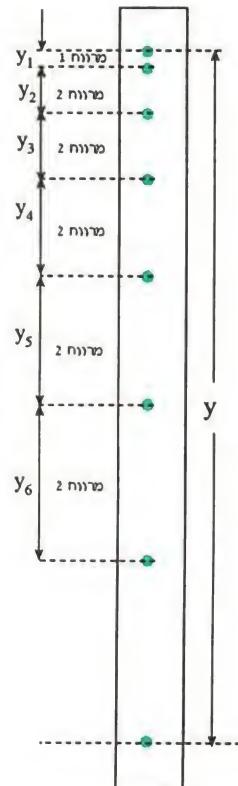
מכ' 35



צירור 14:  
כוח הכבוד והתאוצה

מלא את הטבלה הבאה:

מרחק המרוחה בס"מ בין נקישה לעוקבת לה	תוספת האורך בס"מ לכל מרוחה
1 $y_1 =$	2 $y_2 - y_1 =$
3 $y_2 =$	4 $y_3 - y_4 =$
5 $y_3 =$	6 $y_4 - y_3 =$
7 $y_4 =$	8 $y_5 - y_4 =$
9 $y_5 =$	10 $y_6 - y_5 =$
11 $y_6 =$	



12 האם תוספת האורך לכל מרוחה היא קבועה? \_\_\_\_\_ (כן/לא). מכאן,  
שהמשקלות נעה בתאוצה קבועה.  
כדי למצוא את התאוצה הקבועה נשתמש בנוסחה:

$$y = \frac{1}{2} at^2$$

13 הוא אורך סרט הנייר החל מנקישה ראשונה (ראה ציור 15).  
14 הוא ה \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה).  
15 הוא הזמן שבו עוברת המשקלות את המרחק  $(y/x)$ .

ציור 15:  
תנועה בתאוצה אל הירקע  
16 הוא מרחק התנועה החל  
מן נקודה ראשונה

17 הוא מספר המרוחות  
כטול 0.02 שניות

18.8. בחר מרחק  $y$  מתאים (ראה ציור 15) (שבוררו רואים בבירור את  
הגדלת המהירות) ומדוד את מספר המרוחות. מספר המרוחות  
הו  $\frac{y}{2}$ .  
19. \_\_\_\_\_ זמן מרוחה אחד הוא  $\frac{50}{1/0.02}$  שניות, لكن הזמן הכלול  
הו:

$$t = \text{_____} \cdot 0.02$$

$$t = \text{_____} \text{ שניות}$$

$$y = \text{_____} \text{ מטר}$$

המרחק  $y$  הוא:

9. מהנוסחה  $y = \frac{1}{2}at^2$  נובע כי:

$$\cdot a = \frac{2t^2}{y} \quad (4) \quad a = \frac{y}{2t^2} \quad (3) \quad a = \frac{t^2}{2y} \quad (2) \quad a = \frac{2y}{t^2} \quad (1) \quad \textcircled{1}$$

סמן את הנוסחה הנכונה וחשב:

②  $a = \frac{2 \cdot \underline{\hspace{2cm}}}{\underline{\hspace{2cm}}}$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\frac{2}{\text{שניות}^2}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \textcircled{2}$$

10. התאוצה שקיבלת היא תאוצת הכביד והיא מסומנת באופן מיוחד על ידי האות  $g$  (המסמלת את המילה Gravitation - משיכת כדור הארץ).

התוצאה שקיבלת צריכה להיות  $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שניות}^2}$  בערך. הערך המדויק יותר הוא  $9.8 \frac{\text{מטר}}{\text{שניות}^2}$ .

מצא את אחוז השגיאה של חישובך (ראה נוסחה בתחתית העמוד).\*

4



11. לפישוט חישובים נהוגים לרשום עבור  $g$  את הערך:  $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שניות}^2}$

החוק השני של ניוטון מלמד כי הכוח שפעיל כדור הארץ על הגוף חייב להיות שווה ל  $\underline{\hspace{2cm}} \cdot (mx/mv/ma)$ .

לכן כוח המשיכת המסומן באות  $W$  שווה ל  $\underline{\hspace{2cm}} \cdot (m \cdot 1/m \cdot 10/m \cdot 5)$ , או - כוח המשיכת  $W$  שווה ל  $mg$ .

$W = mg$



7

\* אחוז השגיאה:

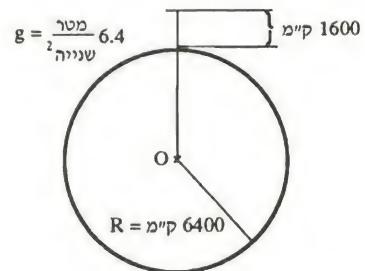
$$\frac{\text{תאוצה מצופה} - \text{תאוצה נמדדת}}{\text{תאוצה מצופה}} \cdot 100 = \text{אחוז השגיאה}$$

$$\frac{9.8 - \text{תאוצה נמדדת}}{9.8} \cdot 100 = \text{אחוז השגיאה}$$

12. ערכו של  $g$  או של  $\frac{g}{R}$  (מהירות/תאוצת) הגוף הנופלים אינו קבוע בכל מקום על פני כדור הארץ. אולם השינויים מאוזר אחד לשני הם קטנים ביותר.

ככל שמתרחקים מפני כדור הארץ, תאוצת הכביד  $g$  הולכת וקטנה. לדוגמה: במרחק 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ, תאוצת הכביד  $g$  היא רק  $g = \frac{6.4 \text{ מטר}}{6400 \text{ שניות}^2}$  (ציר 16). ככל שמתרחקים יותר, היא הולכת וקטנה.

כאשר שולחים אסטרונאוטים למסלול בגובה רב סביב כדור הארץ, הם נמצאים בתחום שבו תאוצת הכביד  $g$  (גדולה/קטנה) יותר מאשר על פני כדור הארץ. כוח המשיכה הפועל עליהם, או לחילופין משקלם  $m$  (קטן/גדול). המסה שלהם  $m$  ( משתנה/אייה משתנה) בגובה רב, לאחר שלא חל שינוי במבנה גופם.



ציר 16:

במרחק 1600 ק"מ מפני כדור הארץ ערכו של התאוצה  $g$  שווה ל-  $\frac{6.4 \text{ מטר}}{6400 \text{ שניות}^2}$

נכט:



- מסה  $m$  של גוף היא גודל שאינו משתנה.
- משקלו של גוף או כוח המשיכה הפועל עליו משתנה ביחס ישר לתאוצת הכביד  $g$ .
- תאוצת הכביד  $g$  הולכת וקטנה ככל שמתרחקים מפני כדור הארץ.

13. משקלו 'W' של גוף הנמצא בגובה 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ הוא 32 ניוטון. מהי מסתו ומה משקלו 'W' על פני כדור הארץ?

פתרונות:

נתון:

$$32 \text{ ניוטון} = W \text{ משקל הגוף במרחק 1600 ק"מ}$$

$$? = m \text{ מסת הגוף}$$

$$? = W \text{ משקלו על פני כדור הארץ}$$



נסמן ב- $g'$  את תאוצת הכוכב בגובה 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ:

1  $g' = \frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}^2} \quad \underline{\hspace{2cm}}$

$W' = mg$

לכן:

$m = \frac{W'}{g'}$

כלומר:

2  $m = \frac{\text{ק"ג}}{6.4} = \underline{\hspace{2cm}}$

משקלו של אותו גוף על פני כדור הארץ הוא:

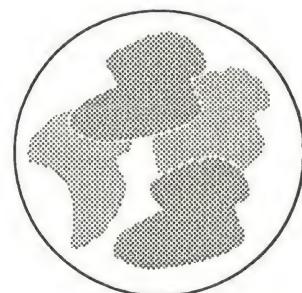
$W = mg$

3  $W = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10$

4  $W = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ניוטון}$

14. גם לגרמי השמים השונים יש כוח משיכה. לכן גם גופים הנמצאים עליהם יש  $\underline{\hspace{2cm}}$  (מהירות/מעתק/תאוצה) כוכב. לירח יש למשל כוח משיכה הקטן בערך פי 6 מזה של כדור הארץ (צирור 17).

ג' על פני כדור הארץ הוא  $\frac{6}{\text{שניהם}^2}$ , לכן יהיה (תאוצה הכוכב על פני הירח) היא  $\frac{10}{6} \frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}^2}$ .  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}^2} = \frac{\text{ירח}}{\text{שניהם}^2}$



צירור 17:  
תאוצה הכוכב על פני הירח היא 1/6 מערכו על פני כדור הארץ

15. מסתו של אסטרונאוט שסieur בירח היא 70 ק"ג (צירור 18). מה משקלו על פני כדור הארץ ומה משקלו 'א' על הירח?

פתרונות:

נתונים:

70 ק"ג =  $m$  מסת האסטרונאוט

$W = ?$  משקלו על פני כדור הארץ

$W' = ?$  משקלו על הירח

$W = mg$

$W = \underline{\hspace{2cm}}$

8

9  $W' = \underline{\hspace{2cm}} \cdot g' \cdot \text{ירח}$

10  $W' = \underline{\hspace{2cm}}$



צירור 18:  
משקלו של אסטרונאוט בירח קטן פי 6 מאשר על פני כדור הארץ

16. על מזחלת שלג שمسתה 20 ק"ג פועל כוח אופקי של 40 ניוטון. מהי

תאוצת המזחלת?

פתרונות:

נתונים:

$$20 \text{ ק"ג} = m \text{ מסת המזחלת}$$

$$40 \text{ ניוטון} = F \text{ הכוח הפועל על המזחלת}$$

$$a = ? \text{ תאוצת המזחלת}$$

על מזחלת שלג (ציור 19) בשעת תנועתה כמעט לא פועל כוח

(הכבד/חיכוך). לכן, הכוח של 40 ניוטון הוא הכוח

(האופקי/האנכי) היחיד הפועל על המזחלת.

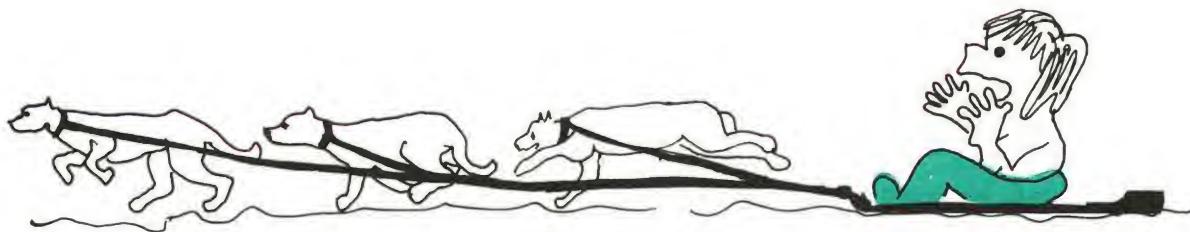
ואז:

$$F = ma$$

$$3 \quad a = \frac{F}{m}$$

$$4 \quad a = \frac{F}{m} =$$

$$a = \frac{40}{20} \text{ מטר} = 2 \text{ שנייה}^2$$



ציור 19: החיכוך עם השלג הוא אפסי

## 1.ה יישום החוק השני של ניוטון במדע ובטכנולוגיה

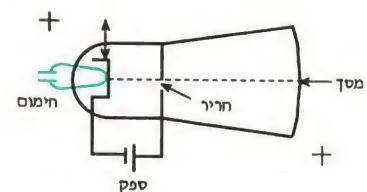
החוק השני של ניוטון תקף בכל סוג הכוחות הקיימים. דוגמה לכך מהו הכוח החשמלי.

במכשיר הטלויזיה שהוזכר בסעיף 1.ב 4 קיימן כוח חשמלי. כוח זה גורם לתאוצתם של האלקטרוונים לפני משה פוגעים במסך (ציר 20). האלקטרוונים הם גופים בעלי מסה זעירה הטוענים בטען חשמלי.

על האלקטרוונים המואצים פועל כוח חשמלי קבוע. אך הם נעים <sup>1</sup> (במהירות/בתאוצה) קבועה.

<sup>2</sup> התאוצה, לפי החוק השני של ניוטון, נמצאת ביחס <sup>3</sup> (ישראל/הפון) למסה. מסת האלקטרוונים <sup>4</sup> (זעירה/גודלה) מאוד שכן תאוצתם <sup>4</sup> (גודלה/קטנה) מאוד (בערך פי <sup>14</sup> יותר מאשר תאוצת הכביד g).

.1.



ציר 20:

מערכת ההאצה של האלקטרוונים  
במכשיר הטלויזיה

**נסכם:**  
תאוצת האלקטרוונים במכשיר הטלויזיה, הנוצרת על ידי כוח חשמלי, גדולה מאוד.



.2. אחת השיטות המקובלות להעברת ציוד ואספקה לאזורי מצוקה ולמקומות מרוחקים היא ה cynה ממוטסים (ציר 21).

אם יופל הציוד ממוטס <sup>5</sup> בהפילה חופשית (ללא מצנה) הוא ינוע בתאוצה g ו מהירותו תלך ו <sup>6</sup> (תקטון/תגדל) ביחס <sup>6</sup> (ישראל/הפון) למן שהיה הציוד באוויר.

לפי הנוחסה:  $gt = v$ .

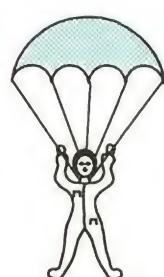
בהתגעה לאדמה, ייחבט הציוד בקרקע בגל מהירותו הגדולה, ויהרס.



ציר 21:

ה cynה ממוטסים

.3. כדי למנוע את החבטה, מחברים את הגוף הנופל למצנה. המצנה עשוי רצועות, לרוב מבד סינטטי חזק (ציר 22). כאשר המצנה משתחרר מהחוטים שסגרו אותו, נוצר לחץ בתוך חותמת המצנה והוא נפתח. שטחו במצב זה רחב מאוד (המצנה בו משתמשים צנחים למשל הוא בעל שטח של כ-70  $m^2$ !!!) ונוצרת התנגדות אויר חזקה המקטינה את תאוצת הגוף הנופל. המצנה של הצנחים נפתח באופן אוטומטי לאחר שלוש שניות. לצנחים ב cynה חופשית ניתן שיקול הדעת לגבי זמן פתיחת המצנה. לרוב הם צונחים בהפילה חופשית זמן רב יותר מאשר צנחים רגילים.



ציר 22:

המצנה עשוי בד סינטטי חזק

4. כאשר ציוד הצניחה עובר את פתח המטוס, עוד לפני פתיחתו של המצנча, הוא נע תחילה בנפילה חופשית. הכוח היחיד שפועל עליו הוא כוח המשיכה  $W$  (ציפור 23).

עם פתיחת המצנча מפעיל האויר כוח התנגדות שהולך וגדל ככל שמהירות המצנча גדלה וכן תאוצת המצנча הולכת (וגדלה/וקטנה).

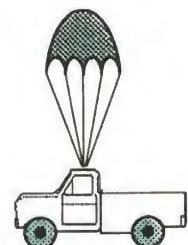


5. בשלב מסוים של הצניחה מגיע ערך כוח התנגדות האויר ל-75% משקלו  $W$  של הגוף הצונח (ציפור 24).

כוח התנגדות האויר הוא לפיכך:

$$\left. \begin{array}{ll} \frac{g}{4} & (4) \\ \frac{3W}{4} & (2) \\ \frac{W}{4} & (3) \end{array} \right\} 2$$

סמן את התשובה הנכונה.



ציפור 23:

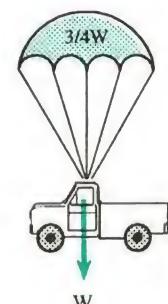
לפני פתיחת המצנча פועל על הגוף כוח המשיכה  $mg = W$  והוא נע בתאוצה  $g$  כלפי מטה

6. על הגוף הנופל פועלים בשלב זה שני כוחות: האחד  $W$  בכיוון  $\frac{3W}{4}$  (אנכי מטה/אנכי מעלה/אלכסוני), והשני בשיעור  $\frac{1}{4}$  בכיוון  $W$  (אנכי מטה/אנכי מעלה/אלכסוני). את שני הכוחות אפשר להחליף בכוח אחד שיקרא הכוח המעשי או הכוח השקל.

הכוח המעשי הפעיל על הגוף הצונח הוא:

$$F = W + \frac{3W}{4} \quad (3) \quad F = W - \frac{3W}{4} \quad (2) \quad F = \frac{3W}{4} - W \quad (1) \quad \left. \begin{array}{l} 5 \\ 3 \\ 2 \end{array} \right\}$$

סמן את התשובה הנכונה.



ציפור 24:

כוח הכביד  $W$  פועל כלפי מטה,  
-  $W - \frac{3}{4} W$  כוח התנגדות האויר  
פועל כלפי מעלה

7. כיוונו של הכוח המעשי הוא  $\frac{1}{4}W$  (אנכי מעלה/אנכי מטה/צפון/דרום) וגודלו  $\frac{1}{4}W$ .  
הכוח המעשי  $W - \frac{1}{4}W = \frac{3}{4}W$  גורם לתאוצה. לפי החוק השני של ניוטון, גודלו של הכוח המעשי שווה למסה  $m$  כפול התאוצה  $a$ :

$$\frac{1}{4}W = ma$$

$$a = \frac{1}{4} \frac{W}{m}$$

אבל:

$$W = m \cdot g$$

לכן:

$$a = \frac{1}{4}g$$

$$1 \quad a = \frac{1}{4} \cdot \frac{m}{s^2}$$

או:

$$(5/10/2.5) \quad a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$$

2

או:

2

סיכום:



א. כוח מעשי (או שקול) הוא כוח אחד המחליף שני כוחות או יותר, כך שהוא גורם לאוֹתָה תָאֹוֶצָה, כמו זו הנגרמת על ידי כל הכוחות יחדיו.

ב. כיוון התאוצה שנגרמת על ידי הכוח המעשי הוא כיוון התאוצה שנגרמת על ידי פועלת כל הכוחות.

ג. הכוח המעשי הפועל על גוף שווה למסתו  $m$  כפול התאוצה  $a$ .

7. במצבות, בשעת צניחה, כוח התנגדות האויר הולך וגדל בהדרגה ככל שמהירות הצנחת הולכת וגדלה. הכוח המעשי (השקל) הולך ו**1** (גדל/קטן). התאוצה על כו הולכת ו**2** (קטנה/גדלה), אולם בסופו של דבר, מגע ערכיה של התנגדות האויר לערכו של כוח הכבוד **3** ( $\frac{W}{4}$ ). **4** הכוח המעשי שפועל על הגוף הצונח הוא  $\frac{W}{2}$  ( $W/0$ ). **5** הגוף ימשיך לנוע ב מהירותה (קבועה/משתנה), שהוועגה עם תום התאוצה.

8. לטיים, השלם את המשפטים שלפניך:

א. ברגע יציאת צנחו ממטוס פועל עליו        (כוח התנגדות האוויר/כוח המשיכה) W בלבד, ותואצתו היא  $\frac{g}{2}$ .

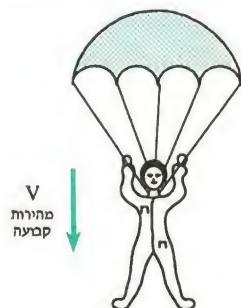
ב. מהירות הצנחו הולכת ו       (גדלה/קטנה). כתוצאה מכך נוצרת התנגדות אוויר שહולכת ו       (גדלה/קטנה).

ג. הכוח המעשית שפועל על צנחו בשעת תנועתו הוא כוח המשיכה W (פחות/עוד) התנגדות האוויר.

ד. כתוצאה מהגדלת התנגדות האוויר, תאוצת הצנחו הולכת ו       (גדלה/קטנה).

ה. התאוצה מתאפשרת כאשר כוח התנגדות האוויר (משתווה ל/גדול מ/קטן מ) כוח המשיכה W (ציור 25).

ו. במצב המתואר בסעיף ה', מגע הצנחו ל מהירות        (התחלתית/סופית). ב מהירות זאת הוא נע עד הגעה לקרקע.



ציור 25:

הצנחו נע במהירות קבועה.  
כוח התנגדות האוויר F  
שווה לכוח המשיכה  
 $F = W$ .  
הכוח המעשית הוא אפס.

נסכם:  
כאשר הכוח המעשית מתאפשר, התאוצה שווה לאפס.



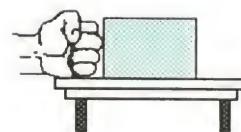
9. קח את גליל העץ שברשותך. הקנה לו תנועה אופקית על ידי דחיפה קלה ביד וחרפה ממנו. גליל העץ קיבל מהירות ולאחר מרחק קצר        (נעצר/הואץ) (ציור 26).

הגליל נע על השולחן בתאוצה. לכן פועל עליו כוח        (נגדיל/לע"ס) כיוון התנועה. כוח זה הוא כוח        (חיכוך/חשמלי) בין הגליל לבין משטח השולחן. כוח החיכוך פועל בגליל שהשולחן        (חלק לחולティין/מחוספס).

על ציור 26 סמן את כיוון התנועה של הגליל וכן את כוח החיכוך הפועל על הגליל.



מכי 36



ציור 26:

כוח החיכוך פועל נגדית  
לכיוון תנועת הגוף

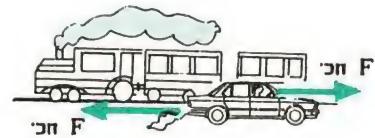
סימנו של כוח החיכוך הוא Fחכ'.



## 10. נשלים:

כאשר מכונית נעה ימינה (ציפור 27) פועל עליה כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  (שמאליה/ימינה).

על רכבת הנעה מערבה (ציפור 27) מפעילים הפסים כוח חיכוך  $F_{\text{חכ}}$  בכיוון (צפונה/מזרחה/דרומ).



ציפור 27:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועל בכיוון נדי לתנועת המכונית  
ונגדית לתנועת הרכבת

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועל תמיד נגד כיוון התנועה.



## 11. תיבה נגררת: 1. על כביש; 2. על רצפת שיש; 3. על חול.

היכן לדעתך יפעל כוח חיכוך גדול יותר?

על \_\_\_\_\_.

כוח החיכוך הקטן ביותר יהיה על \_\_\_\_\_.



כלל שהמשטח שעליו נגרר גוף חלק יותר, כך כוח החיכוך קטן יותר.



12. על קרונית משא שמסתה עם הקטר 5 טון פועל כוח המנוע של הקטר, שגודלו 6000 ניוטון.

כוח החיכוך הוא 2000 ניוטון. מהי תאוצת הקרונית?

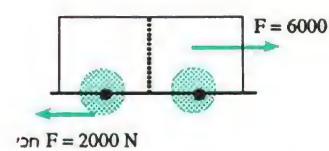
פתרונות:

נתונים:

$$6000 \text{ ניוטון} = F \text{ כוח המנוע}$$

$$2000 \text{ ניוטון} = F_{\text{חכ}} \text{ כוח החיכוך}$$

$$? = a \text{ תאוצת הקרונית}$$



בציפור 28 מופיע סרטוט הכוחות שפועלים על הקרונית עם הקטר.

הכוח המושך שפועל על הקרונית הוא  $2000 \pm 6000$  ניוטון (מחק את הסימן המיותר).

כלומר, הכוח המושך הוא  $5000$  ניוטון. הכוח שווה למסת הקרונית  $m$  כפול  $5$  ( מהירותה/תאוצתה/  
מרחק תנועתה)  $a$ .

$$\text{כלומר: } 4000 \cdot a = 5000$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$$

ציפור 28:

כוח המושך  $F$  וכוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועלים על קרוניות  
הרכבת בכיוונים נגדיים

13. אבן שمسתה 2.5 ק"ג נגררת על ידי 2 טרקטורים צעוזע. הטרקטורים מושכים אותה כך שבין שני כיווני כוח הגרירה יש זווית של  $90^\circ$ . סמן זווית זו בצייר 29. הכוחות שפעילים הטרקטורים הם 3 ניוטון בכיוון אמצעי ו-4 ניוטון אופקי ימינה. מהי התאוצה של האבן ומהו כיווננה?

פתרונות:

נמצא את הכוח השקול (המעשי) הפועל על האבן הנמצאת בנקודה A. לשם כך נציג את וקטורי הכוחות הפעילים על האבן (צייר 30). בכיוון אמצעי ( $90^\circ$ ) נציג וקטור שגודלו  $\sqrt{3^2 + 4^2}$  (3 ניוטון/ 4 ניוטון). הוקטור השקול הוא  $\sqrt{5^2}$  (הצלע/האלכסון) היוצא מנקודה A אל הקדקוד (הסמוך/הנגדי) B. גודלו של הכוח המעשי F שווה לאורכו של האלכסון. את האורך נוכל למצוא באמצעות פיתגורס:

$$F = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$F = 5 \text{ ניוטון}$$

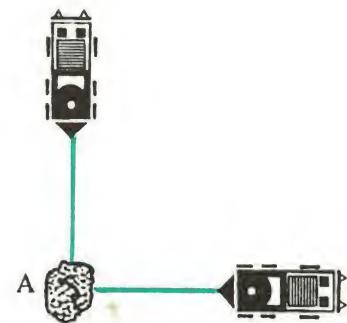
תאוצה האבן מתאפשרת מתוך החוק השני של ניוטון:

$$a = \frac{F}{m}$$

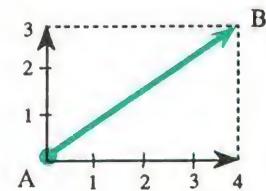
$$a = \frac{5}{2.5}$$

$$a = \frac{5 \text{ מטר}}{2.5 \text{ שניות}^2}$$

כיווןיה של התאוצה הוא תמיד בכיוון הכוח השקול (המעשי). כלומר, התאוצה היא בכיוון (אלכסון/צלע) המלבן. אם האבן הייתה תחילה במנוחה, אז היא הייתה נעה בתאוצה בכיוון (הצלע/האלכסון) של המלבן.



צייר 29:  
אבן במשקל של 2.5 ק"ג  
נגררת על ידי שני כוחות  
שהזווית ביניהם  $90^\circ$   
(מבט מלמעלה)



צייר 30:  
וקטור כוח של 3 ניוטון  
ו-4 ניוטון מאונכים זה לזה.  
הוקטור השקול מכובן לאורך  
האלכסון וגודלו 5 ניוטון.

השכבות: כיוון התאוצה הוא תמיד בכיוון הכוח השקול.



14. למוטסים הממראים מפני הקרקע דרישה מהירות מינימלית כדי להמריא. את מהירותם זו הם מושגים על ידי תנועה בתאוצה לאורך מסלול ההמראה. מהו הכוח שפעיל מוטס נימבו (צייר 31) אם הוא נע בתאוצה קבועה על מסלול שאורכו 400 מ'. הזנה את כמות החיכוך.

מהירותה המריאה שלו  $360 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$ , ומסת המטוס היא 360 טון?

פתרון:

יש לחשב תחילה את תאוצה המטוס a. את הכוח שפעיל מנוע הגימבו נקבל אם  $\frac{\text{טון}}{\text{מטר/שניה}} = \frac{\text{טון}}{\text{מטר}^2}$  (נחק/נכפיל/נחבר/נחסר) את מסת המטוס  $m = 360 \text{ טון}$  (מהירותו/תאוצתו/ מרחק תנועה) a.

נתונים:

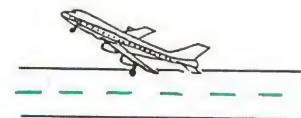
$$\text{טון} = x \quad \text{אורך מסלול הגימבו} \quad 4$$

$$V_0 = 0 \quad \text{מהירות התחלתית של המטוס}$$

$$\frac{\text{טון}}{\text{שניה}} = a \quad \text{המהירות הסופית של המטוס}$$

$$360 \text{ טון} = m \quad 360 \text{ טון} = m \quad \text{מסת המטוס} \quad 6$$

$$a = ? \quad \text{כוח מנוע הגימבו}$$



ציור 31:

כדי שמטוס יכול להמריא  
דרישה לו מהירות המריאה  
מצערית על פני הקרקע

הקשר בין מרחק התנועה x, המהירות הסופית a ו מהירות התחלתית  $V_0$  ניתן בנוסחה:

$$x = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$$

(a) - תאוצה)

נשתמש בנוסחה זו לחישוב התאוצה. המהירות התחלתית  $V_0$  שווה

$$360 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = \frac{\text{טון}}{0 \frac{\text{שניה}}{\text{שניה}}} = \frac{\text{טון}}{400 \frac{\text{שניה}}{\text{שניה}}}, \text{ לכן נוסחת}$$

המרחק מצטמצמת ל -

$$x = \frac{V^2}{2a}$$

$$400 = \frac{360^2}{2a} \quad \text{נציב:} \quad 8$$

$$a = \frac{360^2}{2 \cdot 400} \quad \text{נקבל:}$$

$$a = \frac{\text{טון}}{\text{שניה}^2} \quad \text{התוצאה היא:} \quad 9$$

מכאן, שהכוח F שפעיל מנוע הגימבו על המטוס הוא:

$$10 \quad F = ? \cdot a$$

$$11 \quad F = ? \cdot 162$$

$$12 \quad F = ? \cdot \text{ניטון}$$

15. מהירות המראה  $360 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$  של הגימבו היא קבועה (ציוויל 32). אורך המסלול הוא  $360 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} \cdot 400 \text{ מטר}$ , משום כך היה על המטוס לנעו בתאוצה של  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$ . לפי הנוסחה  $2ax = v^2$  וראים שאם המסלול היה ארוך יותר, הרי שהמטוס היה יכול לפתח תאוצה  $\frac{v^2}{2a}$  (גדולה/קטנה) יותר. במקרה שלנו קיים חס הפרך בין התאוצה  $a$  לאורך המסלול  $x$ . אם יש הגבלה על אורך המסלול  $x$ , על המטוס לנעו בתאוצה גדולה יותר. במצב זה מנווע המטוס מתאפס יותר או לחילופין מפעיל כוח (קטן/גדול) יותר מאשר במסלול ארוך יותר.



ציוויל 32:

מסלול המראה קטן, תאוצה גדולה וכוח מוען גדול.  
מסלול המראה גדול, תאוצה קטנה וכוח מוען קטן, עברו אותו מטוס.

## נסכם:

החוק השני של ניוטון:

- התאוצה הנגרמת על ידי שני כוחות יותר היא בכיוון הכוח השקול (המעשי).
- הכוח המעשוי  $F$  שווה למינוסת הכוח  $m a$  בתאוצה  $a$ .



## 1.1 מישור משופע חלק

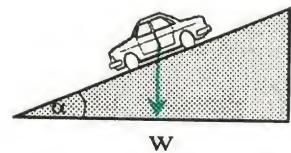
למදנו שכשר מופעל על גוף כוח מעשי **קבוע**, הוא נע בתאוצה **קבועה**. ודאי יוכירה לך מכוניות הטרננטה שליוותה אוטנו במשך הסעיפים הראשונים של פרק זה.

אותה מכוניות, הועמדה בקצתה העליון של כביש חלק משופע. המכוניות החלה לנוע על ידי שחרור מעצור היד (צירור 33).

באיזה סוג של תנועה תנועת המכוניות?

1. ב מהירות קבועה;
2. בתאוצה משתנה;
3. בתאוצה;
4. בתאוצה קבועה.

1



צירור 33: כוח הכבוד  $W$  גורם למכונית לנוע בתאוצה קבועה לתחתית המדרון

סמן את התשובה הנראית לך נכון. אם סימנת מהירות קבועה, הרי התנחה היא שקול הכוחות שפועל על המכונית 2 (שווה לשונה מ) אפס.

אם סימנת תנועה בתאוצה קבועה, הרי שקול הכוחות (הכוח המשעי) היה קבוע 3 (שווה לשונה מ) אפס, כיונו (כיוון/מנוגד לכיוון) התנועה, כלומר 4 (במעלה/במורד) הכביש המשופע.

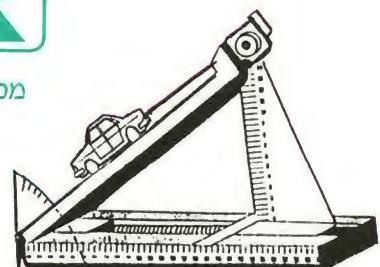
נתבונן במכונית שלנו הנעה על המישור המשופע בזווית נטייה  $\alpha$ . על המכונית פועל כוח הכבוד 6 (A/W), כלומר 6 (משקל/  
מסת) המכונית.

האם כתוצאה מכך תנוע המכונית בתאוצה g? אם התשובה היא חייבית, פירוש הדבר שעבור כל זווית תהיה המכונית תאוצה 7 (שווה לשונה) g. הניסוי שלפניך יוכיח שדבר זה בלתי אפשרי.

קח את מכונית הצעצוע שלפניך (ניסוי מכ' 37). העמד אותה בקצתה העליון של לוח הסינוס, הדק אותה לסרט נייר, את סרט הנייר העבר מתחת לנייר הפחם של הזומזם. הטה את לוח הסינוס לזווית של  $30^\circ$  (צירור 34), הפעיל את הזומזם במתוח חילופין של 6 וולט, הנה למכונית להחליק. המכונית נעה 8 (ב מהירות קבועה/  
בתאוצה) אל תחתית המדרון. נוכל לנתח את תנועת המכונית בעזרת סרט הנייר שקיבלנו.



מכ' 37



צירור 34:  
תאוצה במישור משופע חלק

התבונן בסרט הניר. המרחקים בין נקודות הנקישה (נשארים קבועים/הולכים ונדרלים/הולכים וקטנים). מרוחך הזמן שבין נקודה אחת לשניה הוא קבוע ושווה ל-        (50/1/0.02) שניות.

$$\text{שניות} = \frac{1}{10} \times t = 10 \times \boxed{\quad} \quad 3$$

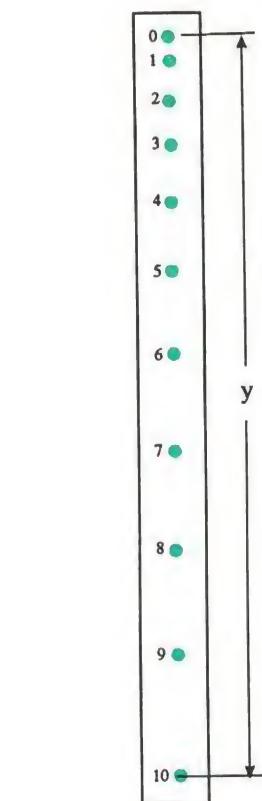
נכע איתה פעולה עבור זוויות הטיה שונות ( $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ ). נמדד בכל פעם על הסרט את המרחק  $y$ , עבור 10 מרוחכים, החל מהנקודה הראשונה (ראה ציור 35).

המראק  $y$  עבור 10 מרוחכים החל מהנקודה הראשונה שעשויה המכונית בכל פעם        (שווה/שונה). הקשר בין הזמן  $t$  והतאוצה  $a$  למראק  $y$  הוא  $y = \frac{1}{2}at^2$

$$a = \frac{2y}{t^2} \quad t = 10 \cdot 0.02 = 0.2$$

$$a = \frac{2y}{0.2} = \frac{y}{0.1}$$

מלא את הטבלה הבאה:



ציור 35

$y$  הוא המראק עבור 10 מרוחכים

	$\frac{y}{\text{מטר}} = \frac{y}{0.1}$	$y$ מטר	$y$ ס"מ	זוויות $\alpha$
3		2	1	$30^\circ$
	6	5	4	$45^\circ$
9		8	7	$60^\circ$
12		11	10	$75^\circ$

מתוך התוצאות שבטבלה ניתן להסיק שככל שזוית הנטייה  $\alpha$  של המדרון גדולה יותר, כך תנוע המכונית בתאוצה        (גדולה/קטנה) יותר.

במדרון חלק, הגדלת זוית  $\alpha$  מגדילה את התאוצה.



4. כיצד תלואה התאוצה  $a$  של גוף הנע במדרון חלק בזווית המדרון  $\alpha$ ? כדי לענות על השאלה הזאת علينا לנתח את הכוחות הפועלים על הגוף ולמצוא את הכוח המשוער (הSKUOL) הפועל עליו.

החוק השלישי של ניוטון, חוק הפעולה והתגובה, קובע כי: כאשר גוף גורם לכוח עקה על משטח, המשטח מפעיל בתגובה על הגוף, כוח שווה לכוח העקה ובכיוון נגדי. כוח נגדיו זה נקרא בשם נורמל ומסומן באות  $N$ .

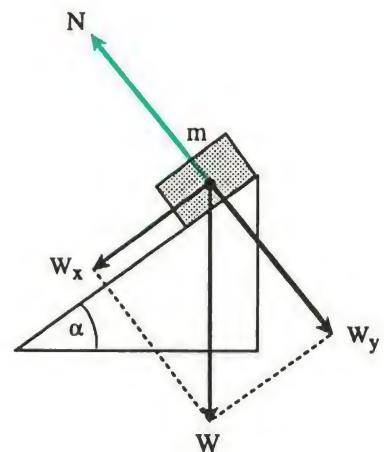
על הגוף פועלים אם כן שני כוחות: האחד  $W$  - כוח המשיכת כדור הארץ והשני כוח התגובה  $N$  שפועל המשטח בכיוון <sup>1</sup> (מאונך למדרון) מוביל.

2. נזכיר כי סוג תנועתו של הגוף הנע במודרן מדרון חלק הוא (בתאוצה/בתאוצה/בתאוצה).  
3. כיוון התאוצה הוא בכיוון <sup>3</sup> (מאונך/מקביל) למדרון.  
4. לפי החוק השני של ניוטון כיוון התאוצה הוא בכיוון הכוח המשוער (SKUOL) הפועל על הגוף. לכן, הכוח שגורם לתאוצה (מאונך/מקביל) למדרון.

כוח זה הוא רכיב של כוח המשיכת  $W$  בכיוון מקביל למדרון. מוצאים אותו על ידי פירוק כוח המשיכת  $W$  לרכיבים.

רכיב אחד  $W_y$  בכיוון מאונך למדרון והשני  $W_x$  מקביל לו (ציור 36).  
5. הרכיב <sup>5</sup> ( $W_y/W_x$ ) הוא הכוח שמעניק לגוף תאוצה קבועה במודרן המדרון.

6. הרכיב <sup>6</sup> ( $W_x/W_y$ ) הוא כוח העקה ולכן הוא מתאים על ידי כוח התגובה של המדרון <sup>7</sup> ( $N/W_x$ ) לפי החוק (השני/  
7. השלישי) של ניוטון.



ציור 36: כוח המשיכת  $W$  מופרד לרכיבים.  
 $W_y$  מאונך למדרון  
 $W_x$  מקביל לו.

5. נבטא את  $W_x$  באמצעות הזווית  $\alpha$ . לשם כך נסרטט את המשולש (ישר/קאה/ חד) הזווית המתקיים מהצלעות  $x$   $W$  ו-  $W$

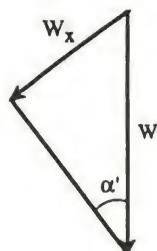
(ציור 37).

9.  $W$  הוא <sup>9</sup> (ניצב/יתר) במשולש זה.

10.  $W_x$  הוא <sup>10</sup> (ניצב/יתר) במשולש זה.

הזווית  $\alpha$  שווה בגודלה לזוית ההטייה של המדרון  $\alpha$ .

הוכחה לכך תוכל לראות בנספח (עמוד 145).



ציור 37: משולש ישר זוית הבנוי מ-  $W$  כיתר ו-  $W_x$  ניצב

המתמטיקה מלמדת כי:

$$\frac{W_x}{W} = \sin \alpha \quad (\text{סינוס } \alpha)$$

ראה הסביר בתחתיות הדף.

מכאן, שהכוח המעש (השקל)  $W_x$  הגורם לגוף לנוע בתאוצה על מדורן חלק שווה ל-  $\frac{W}{\sin \alpha}$  (  $W \sin \alpha / W$  ). מtowerן החוק השני של ניוטון נובע:

$$W \sin \alpha = ma$$

אבל  $mg = W$ , כלומר מכפלת מסת הגוף המחליק  $m$  ב- $g$ .

לכן נקבל:

$$mg \sin \alpha = ma$$

נמצא ב- $m$  ונקבל:

$$a = g \sin \alpha$$

נסכם:

תאוצה של גוף הנע במורד מדורן חלק בעל זווית  $\alpha$  היא:  $a = g \sin \alpha$



6. רושם בטבלה ש לפניך את התאוצה במודרן חלק המתאימה לזוויות הנתונות. השתמש ב-  $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .

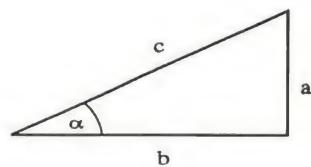
	$a = g \sin \alpha$ מטר/ $\text{שנייה}^2$	$\alpha$
1		$30^\circ$
2	6	$37^\circ$
3		$45^\circ$
4		$53^\circ$
		$60^\circ$

$\alpha$  הוא היחס שבין הניצב  $a$  שמול הזווית  $\alpha$  ליתר  $c$ .

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

לכל זווית  $\alpha$  יש סינוס אחר. את הערכיהם השונים של  $\sin \alpha$  נקבל על ידי הקשה במחשבון של מספר מעלות ואחר כך בהקשה על מקש ה- $\sin$ .  
למשל: הקש 30 (מעלות) ואחר-כך  $\sin$ . נקבל:

$$\sin 30^\circ = 0.5$$



7. מהירות התנועה של מכונית הטרנטה שלנו היא  $2.5 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$ . את מהירות הזאת השינה המכונית לאחר 10 שניות של תנועה בתאוצה קבועה  $a$  במדרון חלק. מהי תאוצה המכונית ומהי זווית המדרון?

פתרון:

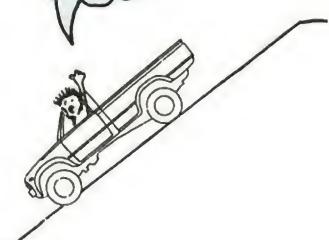
נתונים:

$$V_0 = 0 \text{ מטר/שניה}$$

$$a = \frac{V - V_0}{t} = \frac{2.5 - 0}{10} = 0.25 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$$

$$t = 10 \text{ שניות}$$

מי ייראה לנו  
בז'יל'ז  
2.5 מטר  
שניה



$$a = ?$$

$$\alpha = ?$$

$$V = at + V_0$$

הקשר בין המהירות הסופית בתנועה בתאוצה קבועה  $a$  ובין הזמן  $t$ :  $V = at$  (כאשר המהירות ההתחלתית היא אפס).

$$1. a = \frac{V - V_0}{t} \quad \text{מבחן:}$$

$$2. a = \frac{\boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}} \quad \text{או:}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2} = 0.25$$

$$\text{ראיינו ש: } a = g \sin \alpha$$

$$\text{לכן: } 0.25 = \boxed{\phantom{00}} \cdot \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = 0.025$$

בעזרת המחשבון המדעי שברשותך מצא את זווית המדרון  $\alpha$ . היעזר בהדרכתו של המורה.

$$3. \alpha = \boxed{\phantom{00}}^\circ$$

8. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שיענית על השאלות פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה ש.מ.כ. ג. כדי להשוו את פתרונך עם הפתרון הנכון.



נתון מדרון חלק שזווית נטייתו  $37^\circ$ . על המדרון מונחת מסה  $5 \text{ ק"ג} = m$  המחליקה כלפי מטה (ציר 38).

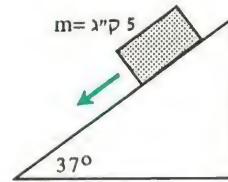
א. סרטט בקנה מידת ( $1 \text{ ס"מ} = 20 \text{ ניוטון}$ ) את כוח המשיכה  $W$  הפועל על המסה.

ב. פרק את כוח המשיכה  $W$  לרכיבים, האחד בכיוון מורד המדרון והשני בכיוון מאונך לו.

ג. סרטט את תגובת המישור A.

ד. מדוד בעזרת סרגל, את רכיבי הכוח  $W$  בכיוון מורד המדרון  $-W_y$  בכיוון מאונך לו.

$$W_x = \boxed{\quad} \quad \text{ניוטון} \quad 2 \quad W_y = \boxed{\quad} \quad \text{ניוטון} \quad 1$$



ציר 38:  
מסה של  $5 \text{ ק"ג}$   
מחליקה בmorph מדרון  
זווית נטייתו  $37^\circ$

ה. חשב את הכוח המעי (השקל) הפועל על המסה ואת תואצתה.

$$\text{ניוטון} = F \text{ מעשי (מדוד)} \quad 3$$

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} = a \text{ (מדידה)} \quad 4$$

ו. בסעיף 5.1.1 הגענו למסקנה שתואצחה של גוף הנע בmorph מדרון חלק בעל זווית  $\alpha$  היא:  $a = g \cdot \sin \alpha$

השווה את התואצחה שקיבלת בסעיף ה' לתואצחה המתבקשת בעזרת הנוסחה.

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} = a \text{ (מדידה)} \quad 5$$

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} = a \text{ (חישוב)} \quad 6$$

מלאת את המשימה? פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה!



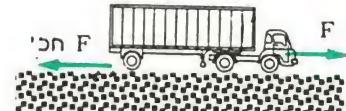
ש. מ.כ. ג. 1

## 1.2 כוח החיכוך

משאית שמשקלה 1 טון נעה על כביש מחוספס. מנוע המשאית מפעיל עליה כוח קבוע  $F$  (ציפור 39).

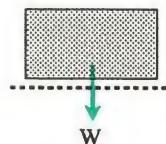
המשאית נעה בתאוצה  $a$ .  
**1** בכיוון אופקי פועלים על המשאית כוח  $F$  (שני/שלשה) כוחות: כוח המנוע  $F$  וכנגדיו כוח  $-F$  (המשיכת/החיכוך)  $F_{חכ}$ .  
 מעמיסים את המשאית כך שמשתה היא כעת 2 טון. המשאית ממשיכה לנוע על אותו כביש וכוח המנוע  $F$  לא השתנה.  
**2** המשאית תנוע עתה בתאוצה  $a$  (קטנה/גדולה) יותר מאשר ללא עומס, כי כוח החיכוך  $F_{חכ}$  כללית נאמר, שככל שמשקל המשאית גדלה כך  $F_{חכ}$  (יגדל/יקטן) כוח החיכוך.

**3** כאשר מסת הגוף גדלה, כוח  $F$  (יגדל/יקטן/לא ישתנה) כוח המשיכת של כדור הארץ הפועל עליו.  
**4** כוח המשיכת או משקל הגוף יוצר כוח הפועל על המשטח עליו הוא מונח. כוח זה נקרא **עקה**. העקה גדלה כאשר כוח חיצוני פועל על המסה בכיוון **7** (מעלה/מטה). העקה **6** (קטנה/גדלה) כאשר הכוח החיצוני פועל כלפי מעלה (ציפור 40). אם לא פועל כוח חיצוני על המסה, העקה שווה לכוח **8** (המשיכת/החיכוך)  $W$ . כוח העקה הוא כוח מאונך שפועל כלפי מעלה על המשטח שעליו הוא מונח. כוח החיכוך גדל ככל שהעקה גדלה יותר.

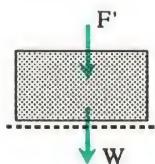


ציפור 39:

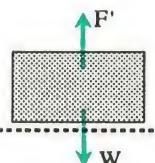
על משאית הנעה על כביש מחוספס פועלים שני כוחות. כוח המנוע  $F$  ונגדי לו כוח החיכוך  $F_{חכ}$ .



כוח המשיכת של כדור הארץ  $W$  יוצר עקה על המשטח.



כוח חיצוני  $F'$  הפועל כלפימטה מגדיל את העקה.



כוח חיצוני  $F'$  הפועל כלפי מעלה מקטין את העקה.

**2** כאשר הגוף גורם לכוח עקה על משטח, המשטח מפעיל בתגובה את אותו כוח על הגוף **בכיוון נגדי**, וזאת לפי החוק השלישי של ניוטון (וראה סעיף 4.1.1).

כוח נורמל הוא כוח שהמשטח מפעיל בתגובה על הגוף ובכיוון מאונך למשטח.

**9** כוח הנורמל  $N$  ( $N/W$ ) שווה אם כן בגודלו לעקה, וזאת לפי החוק השלישי של ניוטון. כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הולך וגדל ככל שכוח הנורמל  $N$  גדל.

ציפור 40

### נסכם:

- א. עקה הוא כוח שפועל כלפי מעלה במאונך למשטח עליו הוא מונח.
- ב. נורמל  $N$  הוא כוח שהמשטח מפעיל על הגוף המונח עליו, במאונך למשטח.
- ג. כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הולך וגדל ככל שכוח הנורמל  $N$  גדל.



3. נתיחה למצב שבו אותה משאית המוזכרת בתחילת סעיף 1.2.1.

עובדת מכבי שחלק לכביש מחוספס ומשם לחול (ציריך 41).

באיזה משטח יהיה כוח החיכוך הגדול ביותר?

במשטח (החול/המחוספס/החלק) (מחק את המיותר).

ניסויים מראים, כי כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  תלוי בשני גורמים בלבד:

א. בכוח הנורמל  $N$ .

ב. בסוג המשטחים המתחככים.

במקרה שלנו המשטחים הם צמיגי המשאית והכביש.

ניסויים נוספים מראים שכוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  נמצא **ביחס** ישיר לכוח הנורמל  $N$ , כך ש:

$$N\mu = F_{\text{חכ'}}$$

ע (מי) נקרא מוקדם החיכוך הקינטי (התנועתי), או בקיצור מוקדם החיכוך, והוא תלוי אך ורק בסוג המשטחים המתחככים. מוקדם החיכוך הוא היחס שבין כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  לכוח הנורמל  $N$ .

$$\mu = \frac{F_{\text{חכ'}}}{N}$$

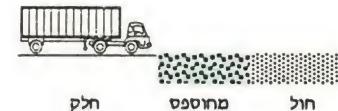
ל-  $\mu$  יש/אין **יחידות פיסיקלית** כי הוא מתאר **יחס** שבין שני כוחות: את היחס שבין כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  לבין כוח הנורמל  $N$ .

**נסכם:**

א. כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  נמצא **ביחס** ישיר לכוח הנורמל  $N$ .

$$N\mu = F_{\text{חכ'}}$$

ב. מוקדם החיכוך  $\mu$ , תלוי רק בסוג המשטחים המתחככים והוא חסר **יחידות פיסיקלית**.



ציריך 41:  
כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  תלוי בסוג  
המשטחים המתחככים

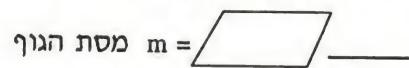


4. כוח של 20 ניוטון מופעל על מסה של 4 ק"ג בכיוון אופקי (ציפור 42). מהי תאוצת הגוף אם מקדם החיכוך  $\mu = \frac{1}{4}$ ?

פתרונות:

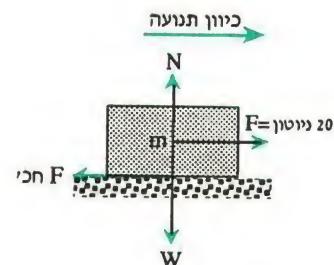
נתונים:

$$20 \text{ ניוטון} = F \quad \text{כוח חיצוני אופקי הפועל על המס}$$



$$m = \frac{1}{4} \text{ מקדם החיכוך}$$

$$a = ? \quad \text{תאוצת המס}$$



ציפור 42:  
הכוחות הפעילים על גוף  
בתנועה על מישור אופקי  
לא חלק

בציפור 42 מופיעים כל הכוחות הפעילים על המס  $m$ .

א. נחשב את כוח החיכוך.

$$\text{ראינו כי } N = F_{\text{חכ}}$$

בכיוון אנכי אין תנועה, לכן:

$$N - W = 0$$

$$N = W \quad \text{לכן}$$

$$\text{ומכאן: } \mu W = F_{\text{חכ}}$$

$$W = mg$$

$$\text{ומכאן: } \mu mg = F_{\text{חכ}}$$

$$F_{\text{חכ}} = \frac{1}{4} \cdot F \quad \text{②}$$

$$10 \text{ ניוטון} = F_{\text{חכ}}$$



ציפור 42 א'

ב. ציר בקנה מידת על המס, ציפור 42 א', את הכוחות האופקיים הפעילים עליה.

3

הכוחות  $F$  ו- $F_{\text{חכ}}$  (מכונים באותו כיוון/ניצבים/נגדדים)

ולכן הכוח המעשוי הוא  $4$  (הסכום/ההפרש) בין הכוחות

$$(F_{\text{חכ}} - F) = 5$$

$$F - \text{ } = m \cdot \text{ } \quad \text{ואז: } 6$$

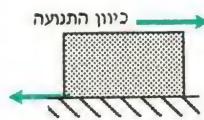
$$20 - \text{ } = 4a \quad \text{או: } 7$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2} 2.5$$

קח את התיבה והנץ אותה על השולחן (צירור 43). דחוף בקלות את התיבה בידך בכיוון מקביל למשטה השולחן וררפה ממנה. כתוצאה לכך תחל התיבה לנוע. התיבה תיעזר <sup>1</sup> לאחר זמן מה.

לאחר שהרפית ממנה, תנוע התיבה ב <sup>2</sup> (תאוצה/תאוטה/ מהירות קבועה).

התואטה נגרמה כתוצאה מכוח <sup>3</sup> (המשיכה/החיכוך) שפועל על התיבה <sup>4</sup> (בכיוון ה/כיוון נגדי ל תנועה). כוח הדחיפה נפסק כאשר התיבה נעה בתאוטה ולבן כוח החיכוך הוא הכוון <sup>5</sup> (השני/היחיד) בכיוון האופקי הפועל על התיבה בזמן תנועתה.



צירור 43:  
כוח החיכוך הוא היחיד שפועל על התיבה בכיוון אופקי. כיוות נגדי לתנועה.

נחשב את גודל התאוטה של התיבה בהנחה שטסהה  $0.5 \text{ kg}$ . היא נעה על מישור השולחן כך שמקדם החיכוך  $\mu$  המתאים למשטחים המתחככים הוא  $0.2$ .

פתרונות:

נתונים:

$$0.5 \text{ kg} = m \text{ מסת התיבה}$$

$$0.2 = \mu \text{ מקדם החיכוך}$$

$$? = a \text{ תאוצת התיבה}$$

על צירור 43 אי סרטט את כל הכוחות הפעולים על התיבה. אם הנץ מתקשה, היעזר בצייר 42.

הכוח היחיד שפועל על התיבה בכיוון אופקי הוא כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$ . כוח הדחיפה של היד <sup>5</sup> (נפסק/משיך לפעול) בזמן <sup>6</sup> שהתיבה נעה בתאוטה.



צירור 43*a*

$$\mu = \frac{F_{\text{חכ}}}{N} \quad 6$$

בכיוון אנכי פועלים על התיבה <sup>7</sup> (שני/שלווה) כוחות שהשקל שלהם שווה לאפס. הכוחות הם כוח הנורמל <sup>8</sup> ( $N/W$ ) <sup>9</sup> ( $F_{\text{חכ}}$ ) וכוח <sup>10</sup> (המשיכה/החיכוך)  $W$ .

$$N - W = \quad 10$$

$$N = W$$

מכאן

$$N = mg$$

או

$$N = 0.5 \cdot \quad 11$$

מכאן, שכוח החיכוך שווה ל:

$$\mu mg = \mu N = F_{\text{חכ'}}$$

$$F_{\text{חכ'}} = 0.2 \cdot \underline{\quad} \quad \textcircled{1}$$

$$1 \text{ ניוטון} = F_{\text{חכ'}}$$

$F_{\text{חכ'}}$  הוא הכוח היחיד הפועל על המסה لكن לפי החוק השני של ניוטון:

$$F = ma$$

$$1 = 0.5 a$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \textcircled{2}$$

באופן כללי, ערך התאוצה של גוף, הנגרמת רק כתוצאה מפעולתו של כוח יחיד - כוח החיכוך שפועל משטח בעל מקדם חיכוך  $\mu$ , יתקבל באופן הבא:

$$\mu mg = ma$$

נמצאים ב- $a$  ונקבל:

$$a = \frac{g}{\mu} \quad \text{(4)} \quad a = \frac{\mu}{g} \quad \text{(3)} \quad a = \mu g \quad \text{(1)}$$

סמן את הפתרון הנכון.

האם הביטוי  $g = a$  מתאים לתוצאה שקיבלת בתרגיל שבסעיף 9?

נבדק:

$$a = \mu g$$

$$a = \underline{\quad} \cdot \underline{\quad} \quad \textcircled{1}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \textcircled{2}$$

נסכם:

כאשר גוף נעה על משטח ומקדם החיכוך בין המשטח הוא  $\mu$ , התאוצה שלו תהיה שווה  $-\mu g$ , אם כאשר כוח החיכוך הוא הכוח היחיד הפועל עליו.



8. נוכל להציג את הדיוון על כוח החיכוך בעזרת ניסוי של תנועת גליל על לוח סינוס (ניסוי מכ' 38).

טעה את לוח הסינוס לזוויות של  $60^\circ = \alpha$ . הנח עליו את הגלגל בצד המוחוספס (צירור 44). תן לגלגל לנוע בכיוון תחתית המדרון. מה הם הכוחות הפעילים על הגלגל בשעת תנועתו?

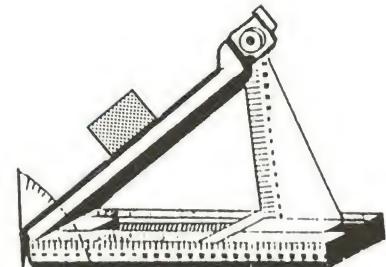
א. על הגלגל פועל כוח המשיכה W בכיוון \_\_\_\_\_ (אנכי/אנכי מטה/תחתית המדרון).

ב. פועל עליו כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  שכיוונו \_\_\_\_\_ (עמ/נגד) כיוון התנועה. כלומר \_\_\_\_\_ (אנכי מעלה/אנכי מטה/מקביל למדרון כלפי מעלה).

ג. משטח המדרון מפעיל על גליל כוח \_\_\_\_\_ (קובד/נורמל) N \_\_\_\_\_ (מקביל/מאונך) למשטח לוח הסינוס (צירור 45).

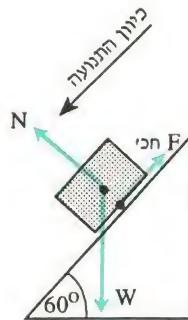


מכ' 38



צירור 44:

לוח הסינוס נטה בזווית  $60^\circ$ ,  
עליו גליל המונח בצד המוחוספס  
על קצה המדרון



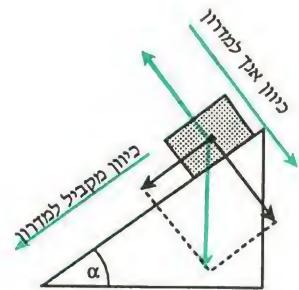
צירור 45:

שלושה כוחות פועלים במדרון:  
W כוח המשיכה כלפי הkrak  
N כוח הנורמל מאונך לגלגל  
F\_chc כוח החיכוך המונך לכיוון התנועה

9. מהו הקשר בין כוח הנורמל  $A$  וכוח המשיכה  $W$ ?  
 כוח העקה שפעיל בגליל מאונך למשטח  $\alpha$  (המדרון/  
 השולחן). כוח זה שווה בערכו לכוח הנורמל  $A$ .  
 את העקה נמצא על ידי פירוק כוח הכביד  $A$  לרכיבים (ציר 46).  
 הרכיב האחד  $x$   $A$  מכובן ב  $W_x$  (מאונך/מקביל) למדרון.  
 הרכיב השני  $y$   $A$  מכובן ב  $W_y$  (מאונך/מקביל) למדרון.  
 בכיוון מקביל למדרון הגליל נע ב  $\mu$  ( מהירות קבועה/  
 תאוצה). לכן הכוח המשי (השוקול) הפעול על הגליל הוא בכיוון  
 מקביל למדרון.  
 אם כן שקול הכוחות הפעילים על הגליל בכיוון אנחנו למדרון הוא  
 $5$   $N = W_y - W_x$  (אפס/ $W_y/N + W_x/N$ ), כלומר:  $0 = W_y - W_x$   
 $6$  מכאן ש-  $W_y$  שווה בערכו ל  $(\mu F)/N$ .  
 בסעיף 3.2.3 ראיינו כי:  $\mu F = F\mu$

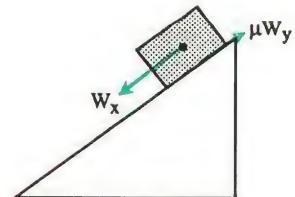
מכאן:

$$W_y = \mu F$$



ציר 46:  
 כוח המשיכה  $W$  מופרד לשני  
 רכיבים:  
 מקביל למדרון  $x$   $W_x$   
 ומאונך לו  $y$   $W_y$   
 כוח הנורמל  $A$  שווה ונדי  
 $7$   $W_y = \mu F$   
 $8$   $A = W_x$

10. הכוח שגורם לגיליל לנוע אל תחתית המדרון הוא  $x$   $W$ . נגידו פועל כוח  
 $9$  (הנורמל  $A$ /המשיכה  $W$ /חיכוך  $F$  חיכי/העקה). הכוח  
 $10$  השקול (המעשי) הפעול בכיוון מורד המדרון הוא:  $(F\mu) + W_x$ .  
 במקום  $F$  חיכי אפשר לרשום  $(W_y/\mu) - W_x$  וואז הכוח המעשי  
 הוא:  $W_y - \mu W_x$ .  
 במצב שבו  $W_y - \mu W_x > W_x$  הגליל נע ב  $11$  ( מהירות קבועה/  
 תאוצה קבועה/תאוצה משתנה) ואפשר לרשום:  $ma = W_y - \mu W_x$   
 $12$  (ציר 47).  
 $11$   $m$  (משקל/מסת) הגליל.  
 $12$   $a$  ( מהירות/תאוצה) הגליל.



ציר 47:  
 הפרש הכוחות האופקיים  
 $10$   $W_y - \mu W_x$  קובע את התאוצה  
 במדרון.  
 $11$   $ma = W_y - \mu W_x$

### נסיכם:

בפרק זה למדנו, שכאשר גוף נע בתנועה מואצת פועל עליו כוח שקול או מעשי השונה מאפס.  
 החוק השני של ניוטון קובע כי הכוח המעשי  $F$  שווה למינוס מסת הגוף  $m$  בתאוצתו  $a$ .  $10$   $F = m \cdot a$   $11$  מעשי.  
 תאוצת הגוף תמיד תהיה בכיוון הכוח המעשי (השוקול).  
 במצב שבו הכוח השקול הוא אפס, הגוף נע בתאוצה אפס, כלומר,  
 תנועתו תהיה ב מהירות קבועה בקו ישר.  
 מצב אחר שבו שקול כוחות שווה לאפס הוא מנוחה.



סיימת לעבור על פרק 1. ענה על שאלות הסיכום שלפניך. פנה לשימוש היעדים שבתחילת הפרק ובודק אם הם אכן הושגו.



1. מה קורה לגוף כאשר השקל של הכוחות הפעילים עליו שווה **לאפס?**

1

2. מהם סוגי התנועה של גוף, כאשר פועל עליו כוח **מעשי F?**

2

3. תואצתו של גוף תלוי בשני גורמים. מה הם?

3

4. משקלו של אסטרונאוט על כדור הארץ הוא 600 ניוטון. מהי מסתו ומה משקלו על הירח?

4

5. מה התוצאה של הפעלת כוח על גוף בכיוון נגדי לתנועתו?

5

6. במה תלוי כוח החיכוך?

6

7. תאר את סוג תנועתו של צנחן מרגע יציאתו מהמטוס ועד נחיתתו על הקרקע.

7

8. כיצד מושגים מטוסים את המהירות הדרישה להם להמראה?

8

9. חשב את הכוח הגורם לתנועתו של גוף שמסתו  $2 \text{ kg}$  והוא נע לכיוון תחתיית מישור משופע חלק בעל זווית של  $37^\circ$ . חשב את תואוצתו. סרטט את הגוף ואת הכוחות הפעולים עליו.

10. חשב את התאוטה של גוף שגע על מישור אופקי לא חלק וכוכח החיכוך הוא הכוח האופקי היחיד שפועל עליו, כאשר מוקדם החיכוך הוא 0.3? סרטט את הגוף ואת הכוחות הפועלים עליו.

11. סרטט מדרון לא חלק בעל זווית של  $30^\circ$  ועליו גוף נע שמסתו  $2 \text{ ק"ג}$ .

ח' שבר את המתגזהה של הגוף ונציגו בו

WISCONSIN STATE LIBRARIES BORN

האם החומר ידוע היטב?



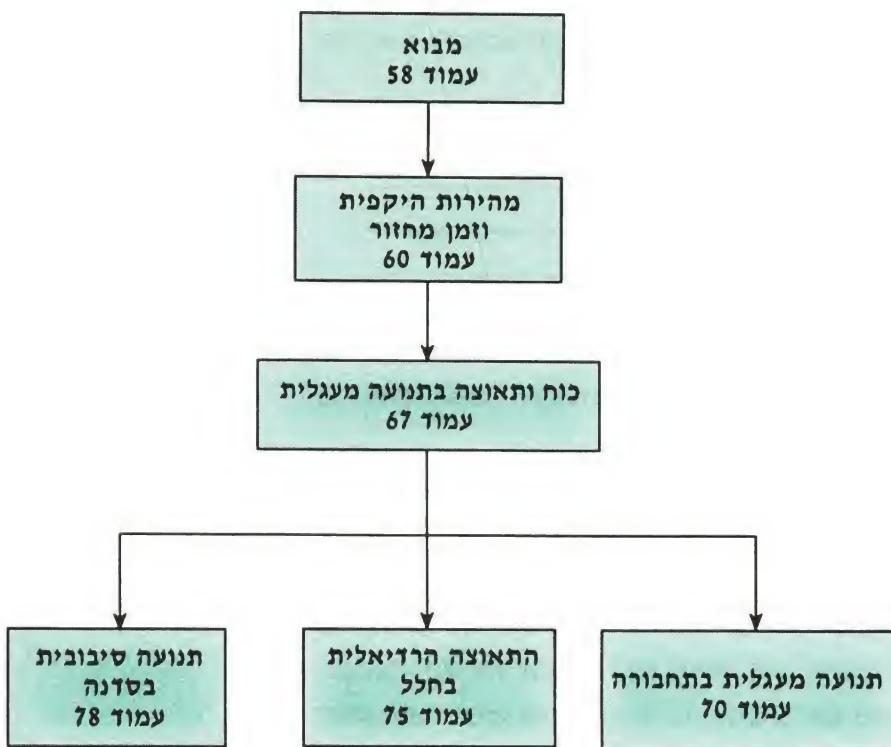


**פרק 2:**  
**תנוועה מעגלית**



## פרק 2: תנועה מעגלית

תרשיס מהלך נושא הלימוד



עם סיום פרק הלימוד אתה אמרו:

1. להכיר את המושגים: זמן מחזור, תדריות ומהירות היקפית  $\text{Hz}$ .
2. לדעת כי בתנועה מעגלית קיים כוח שקול (מעשי) הפועל בכיוון המרכז וגודלו שווה ל-  $F = \frac{mV^2}{R}$ .
3. לדעת כי  $\frac{V^2}{R}$  הוא התאוצה הרדיאלית שקיימת בתנועה מעגלית.
4. לדעת כי כיוון התאוצה הרדיאלית הוא למרכז הסיבוב והוא גורמת לשינוי כיוון תנועת הגוף המסתובב.
5. לדעת מהו הגורם לתנועה מעגלית של כלי תחבורה.
6. להכיר את המושג הגבהת מעקמים.
7. לדעת כיצד מחשבים את מהירותו של לוויין המסתובב סביבה כדור הארץ, את התדריות או את זמן המחזור שלו.
8. להכיר את התופעות הקשורות בתנועה מעגלית בסדנה.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנים הושגו.



## 2. א. מבוא

אחת הממצאות ששינויו את מהלך ההיסטוריה של האדם הייתה הגלגל.

תנוונו המעלגית של הגלגל אפשרה לאדם ליצור תנועות מוחזירות הדרושים להפעלת מכונות, כלי רכב ועוד.

א. תן תיאור דמיוני לחיי האדם הקדמון לפני המצאת הגלגל.

---



---



---

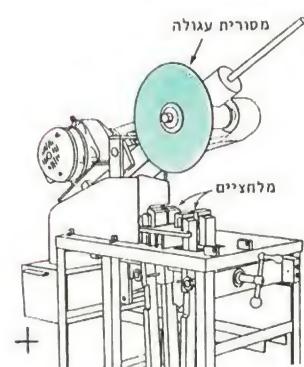
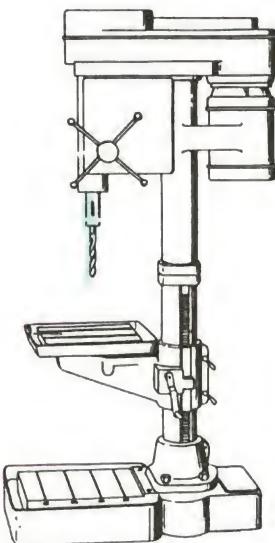
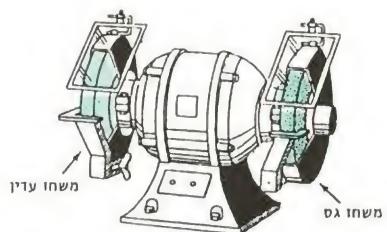
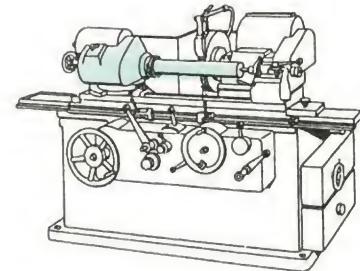
ב. עורך רשימה של מתקנים הפעלים בעזרת גללים.

---



---

בсадנה יש שפע של מתקנים הנעים בתנועה סיבובית כגון: מחרטה, מקדחה, משחזה ומסור עגול (ציור 48). המאפיין את כולם הוא שהם מסתובבים במעגל סביב ציר סיבוב. אנו משתמשים בתנועות המעלגיות החזרת ונשנית כדי לבצע את העבודה הנדרשת. רשום בטבלה את שמות המכשירים שבсадנה המבצעים תנועה סיבובית. הסבר כיצד מתבצעת העבודה בכל מכשיר באמצעות התנועה הסיבובית.



שם המכשיר	פעולות המכשיר בغالל תנועתו הסיבובית
מקדחה	המנוע מסובב את המקדח והוא מחרור חורים.
3	
5	
7	
9	

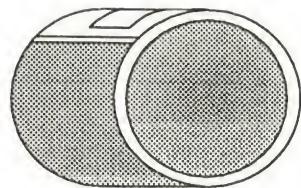
ציור 48:  
המתקנים בסדנה נעים  
בתנועה סיבובית

לتنועה המוגלית שימושים נוספים בטכנולוגיה. לדוגמה, התוֹף של מכונת כביסה מסתובב בתנועה סיבובית. מה קורה לכביסה כאשר המכונה נמצאת במצב "סחיטה"?  
המים שבתוכן מכונת הכביסה נעים מכיוון <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (המרכז/ההיקף) אל <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (היקפו/מרכזו) של התוֹף. המים זולפים דרך הפתחים שבהיקף התוֹף אל מחוץ למכונה (צирור 49). השם הכלל למתוך המסתובב הנמצא במכונת הכביסה למשל, או במכונות ייבוש, נקרא בשם מרכזיפוגה.

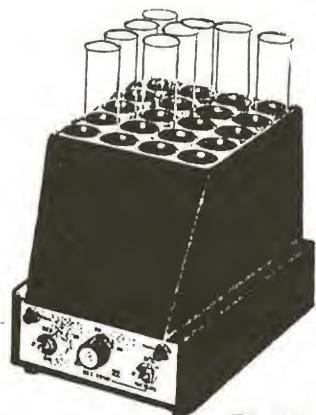
הцентрיפוגה משמשת גם לצרכים רפואיים (ציור 50).  
בעזרתentralrifogah מפרידה הליבורנטית במעבדה את הדם שנלקח לבדיקה. בדס יש צורות אדומות ולבנות ונוזל הנקרא - פלטינה. סיבוב המבחן, שבה נמצא הדם, ב מהירות ניכרת, גורם לכדריות הדם להיפרד מהפלטינה ולנוע לקופה החיצונית של המבחן.

מכוניות הסובבות סביב כיכר מוצעת תנועה <sup>3</sup> (معالית/  
בקו ישר). במערכת הכבישים הקדישו תשומת לב מיוחדת לתנועות  
אליה. כאשר נכנסים לערים מכבישים מוהרים, נעים בתנועה <sup>4</sup>  
(معالית/קוית) בצמתים סיבוביים (ציוויל 51).  
שים לב כי צמתים אלה בנויים כך, שפטת הכביש החיצונית גבוהה  
יותר מאשר השפה הפנימית. מבנה זה של הכביש מגדיר את  
הביטחונות של נוסעים המכוניות, ומונע החלקה בזמן הסיוב.

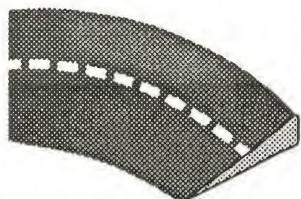
תנווה מעגלית קיימת גם בתנועת גרמי השמים (ציור 52).  
לדוגמה, העובדה שהירות נראית משנה את צורתו במשך החודש נובעת מסיבובו סביבה <sup>5</sup> (הארץ/השמש/מאדים/נפטון). זמן סיבוב שלם של הירות סביבה כדור הארץ הוא כ-28 ימים. כדור הארץ מסתובב סביבה الشمس ומשלים סיבוב שלם במשך <sup>6</sup> (365/24) ימים, כלומר, כלומר <sup>7</sup> (שנה שלמה/חודש שלם/שבוע שלם).



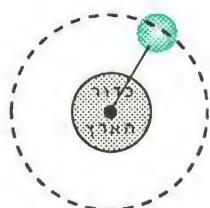
## צ'ור 49: המינים דולפים מפתחי תוף מכונת הכביסה



## 50: ציור צנטריפוגה



## 51: ציור



52: ציור  
זמן מחזור של הירח  
סביב כדור הארץ  
הוא כ-28 ימים

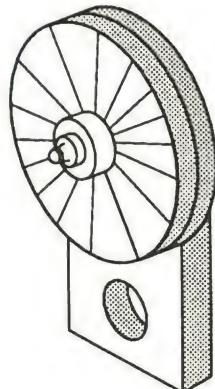
## 2.ב מהירות היקפית וזמן מחזור

1. קח את המתקן שלפניך (ציר 53) וסובב את הידית. תאר מה קורה למסה:



מci 39

השתדל לסובב את הידית במהירות קבועה. המסה המסתובבת נעה על מעגל שרדיוiso R. התנועה המעגלית חוזרת על עצמה. הזמן הדרוש למסה לבצע סיבוב שלם אחד נקרא בשם זמן המחזור T. זמן המחזור T נמדד לרוב בשניות. נמדד את זמן המחזור של המסה המסתובבת:



ציר 53:

מדידת זמן מחזור  
בתנועה מעגלית

2. זמן המחזור T של המסה, כולם הזמן הדרוש לה להקיף את מעגל התנועה        (פעם אחת/ פעמיים/עד מחצית הסיבוב) הוא קטן. לכן,        נמדד את הזמן הדרוש לביצוע 10 סיבובים. את הזמן הזה        (נחלק/נכפיל/נחבר/נחסר) ל/       (מ/ב-10). באמצעות פעולה זאת נמצא את        (התדריות/זמן המחזור) T של המסה. לאחר שהמסה כבר מסתובבת, בחר לך את הנקודה המסומנת על מעגל הסיבוב בנקודת ההתחלה. ספור 10 פעמים נוספת שבחן מגיעה המסה לאותה נקודה. בצע את הניסוי שלוש פעמים. מדוד את הזמן הדרוש ל-10 סיבובים ורשום את התוצאות בטבלה שלפניך:

	זמן המחזור (שניה)	זמן של 10 סיבובים (שניה)	מספר הניסוי
6		5	1
8		7	2
10		9	3

את הממוצע של זמן המחזור T קיבל בעזרת הנוסחה:

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$$

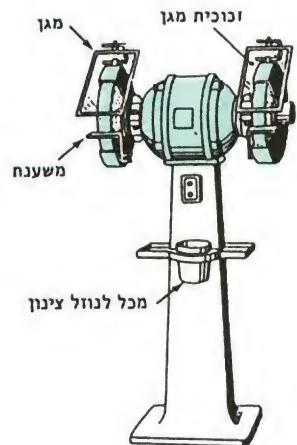
$$T = \boxed{\quad} \quad \textcircled{11}$$

3. מהו זמן המחזור של כדור הארץ סביב השמש? \_\_\_\_\_ יממות.  
 מהו זמן המחזור של הירח סביב כדור הארץ? \_\_\_\_\_ שעות.  
 זמן המחזור  $T$  של סיבובי מנוע מכונית הוא 0.015 שניות.

נכון:  
 זמן מחזור בתנועה מעגלית הוא הזמן הדרוש לגוף לבצע סיבוב שלם אחד.



4. ידוע של מתקני הסדנה השונים זמני מחזור אופייניים. לדוגמה, אחד מזמן המחזור האופייניים לשחזרת לעיבוד פנימי הוא 0.001 שניות, קלומר המשחזר מבצעת סיבוב אחד ב  $\frac{1}{10,000}$  שניות ( $\frac{1}{10,000}$  שניות).  
 הערכוים המתקבלים עברו זמני המחזור של מכוניות או משחזרות וכן של מתקנים אחרים הם קטנים, אינם מוחשיים ואין נוחים לזכורם ולכתיבתיהם.  
 לכן, נגידר מושג חדש הנקרא "תדיירות", שבଉרכתו יהיה קל יותר לבטא את זמן המחזור.



ציור 54:  
 זמן מחזור אופייני של משחזרות  
 הוא 0.001 שניות

5. תדיירות  $f$   
 תדיירות סיבוב  $f$  היא מספר הפעמים שגוף מקיים מעגל במשך שנייה אחת. נתאר לעצמו גוף המסתובב במעגל וזמן המחזור שלו:  
 $\frac{1}{2}$  שנייה =  $T$ .  
 $\frac{1}{2}$  הגור משלים סיבוב אחד במשך  $\frac{1}{2}$  שנייה ( $\frac{1}{2}$  שנייה/2 שנייות), לכן במשך שנייה אחת הוא משלים  $\frac{1}{2}$  (4/2/1) סיבובים. גודלה של התדיירות הוא  $\frac{2}{2}$  סיבובים.

$$\text{נכון: } f = \frac{1}{2} \text{ שנייה} = T = \frac{2}{2} \text{ סיבובים} = \frac{1}{2} \text{ שנייה}$$

6. אם זמן המחזור יתקצר ל-  $\frac{1}{4}$  שנייה =  $T$ , אז הגוף יבצע  $(4/2/1)$  סיבובים בשניות. התדיירות תהיה 4 סיבובים בשניות.

$$\text{נכון: } f = \frac{1}{4} \text{ שנייה} = T = \frac{4}{4} \text{ סיבובים} = \frac{1}{4} \text{ שנייה}$$

באופן כללי, הקשר בין התדרות  $f$  וזמן המחזור  $T$  הוא:

$$f = \frac{1}{\sqrt{T}} \quad \text{א.} \quad f = \frac{1}{T^2} \quad \text{ב.} \quad f = \frac{1}{T} \quad \text{ג.} \quad \text{א. } T = \frac{1}{f} \quad \text{ב. } T = f^2 \quad \text{ג. } T = f \quad \text{1}$$

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

יחידת התדרות היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}}$  או הרץ (Hz).

נחשב את התדרות  $f$  של סיבוב המנוע של מכונית (סעיף 2.ב.3). זמן המחזור של המכונית הוא 0.015 שניה =  $T$ .

$$\text{2} \quad f = \frac{1}{\text{—}}$$

$$\text{3} \quad f = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}} = \text{—}$$

ראינו שזמן מחזור של משחזר (סעיף 2.ב.4) הוא 0.001 שניה.  
4  
תדרות המשחזר היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}}$ .

יחידה טכנית שימושית של התדרות היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}}$  או בראשי תיבות סל"ד (סיבובים לדקה).

لتדרות המבוצעת בסל"ד יש סימון מיוחד -  $\text{m}$ .

נחשב את הקשר בין הסל"ד וה-  $\frac{\text{סיבוב}}{\text{שניה}}$ .

$$1 \text{ סל"ד} = \frac{1 \text{ סיבוב}}{1 \text{ דקה}}$$

$$5 \quad 1 \text{ דקה} = \text{—} \text{ שניות}$$

$$\text{לכן: } 1 \text{ סל"ד} = \frac{1 \text{ סיבוב}}{60 \text{ שניות}}$$

נכפיל ב-60 את שני האגפים. נקבל:  $60 \text{ סל"ד} = \frac{1 \text{ סיבוב}}{1 \text{ שניה}}$

$$6 \quad \frac{2 \text{ סיבובים}}{\text{שניה}} = \text{—} \cdot 2 \text{ סל"ד} = \text{—} \text{ סל"ד}$$

$$7 \quad \frac{10 \text{ סיבובים}}{\text{שניה}} = 60 \cdot \text{—} \text{ סל"ד} = \text{—} \text{ סל"ד}$$

$$8 \quad \text{ולכן: } f \cdot \text{—} = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}}$$

$$\boxed{n = 60f}$$

או:

$$n = 60f$$

8. נחשב את התדריות  $\alpha$  (בסל"ד) של סיבובי מנוע מכוניות (1) ושל משחזרת (2), שאת התדריות שלهما ביחידה  $\frac{\text{סיבובי}}{\text{שנייה}}$  חישבנו בסעיף 6.ב.ב.

$$\frac{\text{סיבובי}}{\text{שנייה}} = f_1 \text{ מכוניות}$$

$$\frac{\text{סיבובי}}{\text{שנייה}} = f_2 \text{ משחזרת}$$

$$\text{סל"ד} = 66 \frac{2}{3} = f_1 \text{ מכוניות}$$

$$\text{סל"ד} = f_2 \text{ משחזרת}$$

נכט:

א. תדריות  $f$  היא מספר הסיבוביים שגוף מבצע בשנייה אחת.

היחידה היא  $\frac{\text{סיבובי}}{\text{שנייה}}$  או הרץ.

ב. היחידה הטכנית של התדריות  $\alpha$  היא סל"ד ( $\frac{\text{סיבובי}}{\text{דקה}}$ ).

$$n = 60f$$



9. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלות פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה ש.מci ג.2 כדי להשוו את פתרונך עם הפתרון הנכון.



לפניך טבלה של תדריות מקסימליות או זמני מחזור מזערירים של מכשירי סדנה שונים. מלא את המשבצות הריקות שבטבלה.

	מכשיר	(סל"ד) $\alpha$	$\frac{\text{סיבובי}}{\text{שנייה}}$ $f$	(שניות) $T$
12	מחרטה	2200	11	
13	משחזרת לכלי עבודה	13	14	0.02
14	מקדחה	15	45	16
15	משחזרת פנימי	17	2000	18
16	כריםות	2000	19	20

מלאת את המשימה? פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה!

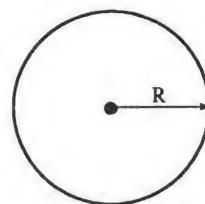


ש. מci ג.2

## 10. מהירות היקפית

מכוניות נעה בתנועה סיבובית על \_\_\_\_\_ (רדיסוס/קוטר/היקף) מעגל. מרחק התנועה של סיבוב שלם על פני מעגל בעל רדיוס  $R$  הוא היקף המעגל (צירור 55) השווה ל:

$$(\pi = 3.14) \quad 2\pi R$$



צירור 55:

לتنועה לאורך היקף המעגל דרוש זמן. הזמן הדרוש להקפת מעגל שלם הוא זמן המחזור  $T$ . מרחק התנועה \_\_\_\_\_ (חלקי/כפול) זמן המחזור הוא מהירות התנועה. ומהירות לאורך היקף המעגל קוראים בשם מהירות היקפית וסימוניה  $V_{\text{יקפ.}}$ .

היקף המעגל הוא \_\_\_\_\_ ( $2\pi R$ ) וזמן המחזור הוא  $(T/f)$ . לכן מהירות היקפית \_\_\_\_\_ ( $V_{\text{יקפ.}}$ ) היא:

$$\frac{2\pi}{RT} \cdot 4 \quad 2\pi RT \cdot 3 \quad \frac{T}{2\pi R} \cdot 2 \quad \frac{2\pi R}{T} \cdot 1$$

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

## 11. חשב את מהירותה היקפית של מכונית (צירור 56), המכיפה כביש מעגלי שרדיוסו 200 מטר במשך דקה ו-20 שניות?

6

פתרונות:

המכונית מקיפה את המעגל במשך \_\_\_\_\_ ו \_\_\_\_\_ שניות, כלומר זמן המחזור שלו הוא \_\_\_\_\_ שניות.

נתונים:

$$80 \text{ שניות} = T \text{ זמן המחזור}$$

$$\text{מטר} = R \text{ רדיוס המעגל}$$



צירור 56:

המהירות היקפית של המכונית  
מטר \_\_\_\_\_ שניות 15.7

? =  $V_{\text{יקפ.}}$  מהירות היקפית של המכונית

$$V_{\text{יקפ.}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 200}{T}$$

$$V_{\text{יקפ.}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 200}{10}$$

$$V_{\text{יקפ.}} = \boxed{\quad}$$

12. הנוסחה  $V = \frac{2\pi R}{T}$  הק' יכולה להיכתב כתלות בתדרות  $f$  במקום בזמן המוחזר  $T$ .

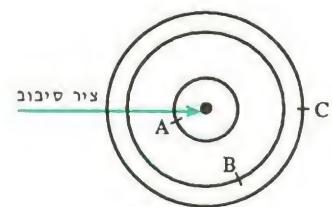
נרשום את זהקי בצורה  $V = 2\pi R \cdot \frac{1}{T}$  במקום  $\frac{1}{T}$  נציב ונקבל:

$$V = 2\pi Rf$$

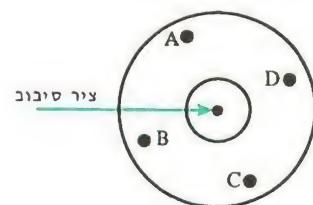
13. נתונה דיסקה המסתובבת סביב ציר סיבוב העובר דרך מרכזה 0. על

הדיםקה מסומנות 3 נקודות, A, B, C (ציור 57).  
נקודות אלה זמן מוחזר ותדרות  $f$  (שווה/שונה) כיון  
שונה נעות על אותה דיסקה.  
כל אחת מהנקודות מקיפה את המרכז, לכן יש להן מהירות (זוויתית/היקפית).

האם לכל הנקודות מהירות היקפית שווה? (כן/לא).  
הנימוק הוא שכל נקודה נמצאת במרחק  $R$  מהמרכז. יש להן רדיוס  $R$  (שווה/שונה).  
כל שהרדיס גדול יותר כך מהירות היקפית (גדולה/קטנה) יותר.  
נקודות הנמצאות על הדיסקה במרחק שווה מציר הסיבוב (ציור 58), יש מהירות היקפית (שווה/שונה).



ציור 57:  
דיסקה המסתובבת  
סביב ציר סיבוב



ציור 58:  
הנקודות A, B, C, D  
נמצאות במרחק שווה  
מציר הסיבוב.  
לן מהירות היקפית שווה.

נסכם:

א. לכל נקודה הנמצאת על דיסקה במרחק שווה מציר הסיבוב יש מהירות היקפית שווה.

ב.لنקיות הנמצאות במרחק שווה מציר הסיבוב מהירות היקפית שונה. ככל שהמרחק גדול יותר, כך מהירות היקפית גדולה יותר, זאת לפי הנוסחה:

$$V = 2\pi Rf \quad \text{או} \quad V = \frac{2\pi}{T} R$$



14. תרגיל: תדריות הסיבוב של אבן משחזה היא 1800 סיבובים/דקה. רדיוסה של האבן 10 ס"מ. מהי מהירות היקפית של נקודה הנמצאת על היקפה החיצוני?

פתרונות:

נתונים:

$$\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}} = f ; \text{ סל"ד} = \text{תדרות המשחזה}$$

$$10 = \frac{\text{רדיוס הסיבוב}}{\text{היקפה}}$$

? = מהירות היקפית

$$V = 2\pi R f$$

$$V = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot f$$

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = 18.84$$

15. מהי מהירות היקפית של נקודה הנמצאת על מחצית הרדיוס? ככלומר, חשב את מהירות של נקודה הנמצאת במרחק של 0.05 מ' =  $R'$  מציר הסיבוב של המשחזה.

פתרונות:

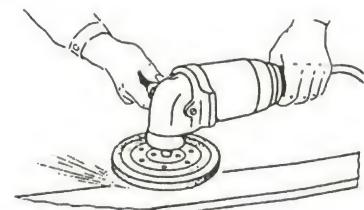
נתונים:

$$f =$$

$$R' =$$

$$? = V \text{ מהירות היקפית}$$

6



ציור 59:  
אבן משחזה,  
תדרות הסיבוב שלו  
1800 סל"ד והרדיוס - 10 ס"מ

## 2.g כוח ותאוצה בתנועה מעגלית

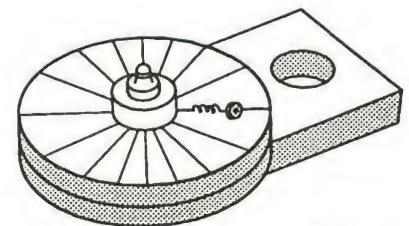
1. סובב את המסה שלפניך בעזרת ידית המתקן, ניסוי מס' 40 (צ'יור 60). המסה נעה בתנועה <sup>4</sup> (קוואית/מעגלית). השתדל לסובב את הידית **בתזרות קבועה**. למסה המסתובבת יש מהירות היקפית שגודלה כמעט <sup>2</sup> (קבועה/משתנה). הקפץ שלו ליו קשורה המס' <sup>3</sup> (מטרופף/נמתח) בשעת הסיבוב, ככלומר על המסה פועל כוח. <sup>4</sup> (מרכז/היקף) המעל. **הכוח הפועל על הגוף מכון אל**



מci 40

נוכל להסיק, שבתנועה מעגלית בmphירות היקפית שגודלה קבוע, פועל כוח **אל המרכז**.

לפי החוק השני של ניוטון: כאשר קיימים כוח, **קיימת תאוצה**. כיוונו של הכוח **אל מרכז** המעל, لكن **כיוון התאוצה** (שהוא כז'ור וקטור) אף הוא <sup>5</sup> (היקף/מרכז) המעל. מדוע יש כאן תאוצה? הרי הגוף נע **לכארה** בmphירות היקפית קבועה.



צ'יור 60:  
על המסה המסתובבת פועל כוח  
בכיוון מרכז מעגל הסיבוב

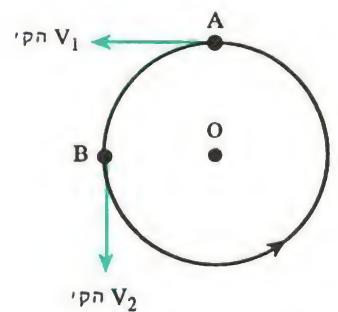
3. תאוצה אינה מبطאת רק שינוי בגודל mphירות. תאוצה מبطאת גם את השינוי **בכיוון mphירות**.

התבונן בצ'יור 61. mphירותו של הגוף <sup>1</sup> מהק' בתנועתו על המעל בנקודה A, **היא בכיוון** <sup>6</sup> (משיק למעל/רדיויס המעל/קטור המעל), ככלומר אופקית שמאליה. כיוון mphירות **משתנה** ולאחר פרק זמן, בנקודה B, **היא בכיוון** <sup>7</sup> (משיק/הרדיוס/הקטור) <sup>8</sup> (למעלה/למטה/ימינה/שמאליה).

mphירות היקפית של גוף נקודתי היא וקטור שכיוונו משיק למעל וערך שווה  $L = R\omega = V$  מהק'.

<sup>1</sup> מהק' הוא וקטור mphירות היקפית בנקודה A. <sup>2</sup> מהק' הוא וקטור mphירות היקפית בנקודה B. <sup>9</sup> (mphירות/התאוצה) <sup>10</sup> (ההפרש בין וקטורי mphירות <sup>1</sup> מהק' ו- <sup>2</sup> מהק') נוותן את התאוצה

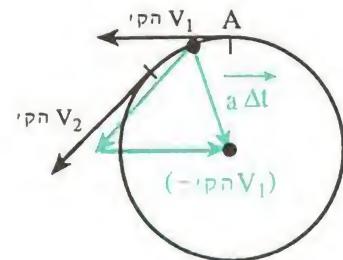
בעבור מרוחק זמן קצר מאד  $\Delta t$ , <sup>1</sup> מהק' יהיה <sup>11</sup> (סמי/רחוב) מאד  $L/M = V$  מהק'. ההפרש בין וקטורי mphירות <sup>1</sup> מהק' ו- <sup>2</sup> מהק' נוותן את התאוצה בתנועה מעגלית; ליתר דיוק את הביטוי:  $\Delta t \cdot a$ . את ההפרש  $\Delta a$  מקבלים על ידי חיבור (<sup>1</sup> מהק')- (כלומר וקטור <sup>1</sup> מהק' הפוך בכיוונו) לוקטור <sup>2</sup> מהק'.



צ'יור 61:  
גוף נע על מעגל ס' mphירות  
היקפית שגודלה קבוע. כיוון  
mphירות משתנה, لكن קיימת  
תאוצה.

תאוצה זאת מכונת תמיד אל מרכז המעלג ולכן נקראת תאוצה רדיאלית,  $a_R$  (ציר 62).

(רדיאלית - מהמילה רדיוס, שכן התאוצה מכונת תמיד בכיוון הרדיוס אל המרכז).



ציר 62:

וקטור מהירות  $V_2$  החק', סמך לווקטור  $V_1$  החק', הינו זו בין מהירותו הוא קצר. את הווקטור  $\Delta V$  מקבלים על ידי חיבור ( $V_2 - V_1$ ).

## נסכם:

- על כל מסה הסובבת במעגל במהירות היקפית שגודלה קבוע, פועל כוח בכיוון מרכז מעגל הסיבוב.
- למסה זו יש תאוצה שכיוונה הוא אל מרכז מעגל הסיבוב.
- תאוצה זו נקראת תאוצה רדיאלית.



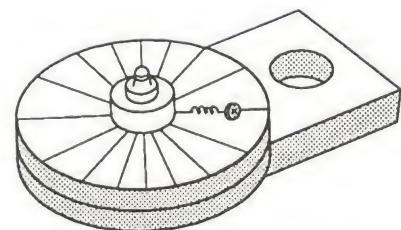
מכ' 41



א. סובב את ידית מתיקן התנועה המעלגית (ציר 63) (המזכר בסעיף 2.2.ג.1) בתקדיות מסוימת (ניסוי מכ' 41). לגוף המסתובב יש מהירות היקפית. בוחן היטב מה קורה לקפיץ במהלך הסיבוב. הקפוץ <sup>1</sup> (רפוי/מותח), ככלمر פועל כוח אל המרכז. למסה יש <sup>2</sup> (תאוצה/ מהירות) בכיוון משיק המעגל. למסה יש תאוצה המכונת אל <sup>3</sup> (מרכז המעלג/ משיק המעגל).

ב. סובב את הידית בתקדיות גבואה יותר. למסה יש עתה מהירות היקפית <sup>4</sup> (גדולה/קטנה) יותר. התבונן בקפוץ. ככל שתדיירות הסיבוב גבואה יותר הוא <sup>5</sup> (מתארך/מתקצר) יותר, ככלmr על המסה פועל כוח הולך <sup>6</sup> (וקטן/וגדיל) אל המרכז.

**מסקנה:** ככל שהמהירות היקפית גדולה, כך התאוצה הרדיאלית גדולה יותר.

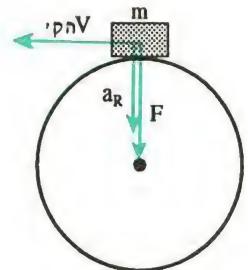


ציר 63:

מתיקן התנועה המעלגית. ככל שתדיירות הסיבוב גדולה והמהירות היקפית גדולה, כך גדולה התאוצה הרדיאלית.

5. ניסויים מהזינים מראים כי גודלה של התאוצה הרדיאלית הוא:

$$a_R = \frac{m \cdot \text{הק'}}{R}$$



זהקי - מהירות היקפית.  $R$  - רדיוס מעגל הסיבוב. התאוצה הרדיאלית נקראת גם תאוצה צנטריפוגלית - תאוצה מרוכזות. התאוצה נגרמת על ידי כוח או שקול כוחות (כוח מעשי) המכוון אל מרכז מעגל הסיבוב (ציפור 64).

נסכם:

א. כוח ייחיד או שקול כוחות (כוח מעשי) בכיוון מרכז הסיבוב הפועל על גוף בעל מהירות זהקי גורם לו לנوع בתנועה מעגלית.

ב. לגוף הנע בתנועה מעגלית יש תאוצה רדיאלית (צנטריפוגלית)

$$\text{שגודלה } a_R = \frac{m \cdot \text{הק'}}{R}$$



ציפור 64:  
הכוח המשי שפועל על גוף  
הנע בתנועה מעגלית הוא:  
 $F = m \frac{\text{הק'}}{R}$   
 $\frac{\text{הק'}}{R}$  היא התאוצה  
הרדיאלית  $a_R$ .

6. לפי החוק השני של ניוטון גודלו של הכוח המשי  $F$  הפועל על גוף הנע בתנועה מעגלית הוא:

$$F = m \frac{\text{הק'}}{R}$$

נסכם:

הכוח השקול  $F$  (המעשי) הפועל על מסה  $m$  הנעה בתנועה מעגלית שווה ל:

$$F = m \frac{\text{הק'}}{R}$$



## 2. תנועה מעגלית בתחבורת

פעמים רבים קורה, שכאש מכונית מסתובבת במעגל, נשמעות חריקות (צ'יר 65). מה מקור של חריקות אלה? כאשר המכונית מסתובבת נוצר כוח חיכוך  $F_{חכ}$  בין הכביש לצמיגים. כיון החיכוך הוא אל (מרכז/היקף) מעגל התנועה. החריקות הן תוצאה מהפעלת כוח החיכוך הנ"ל. **בכביש שטוח** כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הוא הכוח היחיד שגורם למכונית לנוע בתנועה מעגלית, ולכן לפי החוק השני של ניוטון:

$$m \frac{V_{הק}^2}{R} = F_{חכ}$$

כוח החיכוך שגורם למכונית בעלת מסה של 500 ק"ג לנוע במחול מעגלי שווה ל-2500 ניוטון. רדיוס מעגל הסיבוב 125 מטר. מהי מהירות היקפית של המכונית?

פתרון:

כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הוא הכוח היחיד שפועל על המכונית וגורם לה לנוע במעגל (צ'יר 66). כיון החיכוך הוא אל (היקף/מרכז) המעלג.

נתונים:

$$500 \text{ ק"ג} = m \text{ מסת המכונית}$$

$$125 \text{ מטר} = R \text{ רדיוס מעגל הסיבוב}$$

$$2500 \text{ ניוטון} = F_{חכ} \text{ כוח החיכוך}$$

$$? = \frac{m V_{הק}^2}{R} \text{ כוח היקפית (מהירות הסיבוב).}$$

לפי החוק השני של ניוטון הכוח  $F_{חכ}$  שווה ל 3 (חילוק/מכפלת/חיבור/חיסור) מסת המכונית 4 5 (ל/מ/ב) ( מהירות/תאוצה/מעתק) המכונית.

$$\frac{m V_{הק}^2}{R} = \frac{m V_{הק}^2}{R} \text{ התאוצה היא } 6$$

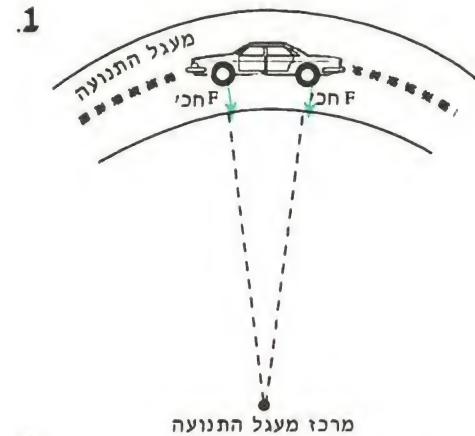
$$\text{ולכן: } \frac{m V_{הק}^2}{R} = F_{חכ}$$

$$7 \quad \frac{m V_{הק}^2}{125} = \text{נציב ונקבל:}$$

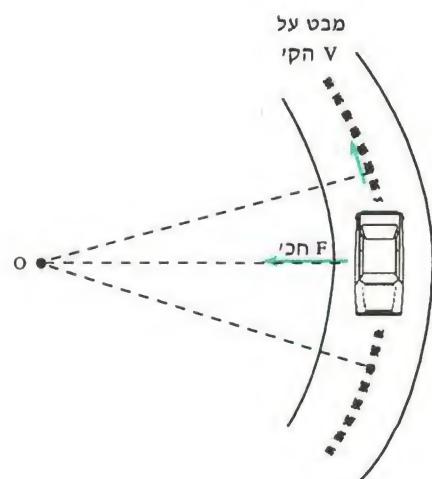
$$8 \quad \frac{125 \times \boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}} = \frac{125 \times \boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}} = \frac{125 \times \boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}}$$

$$9 \quad \boxed{\phantom{00}} = \frac{125 \times \boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}}$$

המהירות היקפית של המכונית היא 90 ק"מ/שעה.



צ'יר 65: מכונית נעה בתנועה מעגלית בגל כוח החיכוך שפועל כלפי מעלה



צ'יר 66: כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הפועל על המכונית בתנועה המעלגית הוא 2500 ניוטון. מסתה 500 ק"ג.

3. מהו כוח החיכוך הדרוש למוכנית כדי שתנועה בתנועה מעגלית במהירות היקפית של  $\frac{72 \text{ ק"מ}}{\text{שעה}}$ ? רדיוס המעלג הוא 1 ק"מ. מסת המוכנית 750 ק"ג (ציפור 67).

פתרונות:

נתונים:

מסת המוכנית  $m = 750 \text{ ק"ג}$

רדיוס המעלג  $R = 1 \text{ ק"מ}$

מהירות היקפית  $V = \frac{72 \text{ מטר}}{\text{שניה}} = 20 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$

---

$? = F_{\text{חכ'}}$  כוח החיכוך

כוח החיכוך הוא הכוח היחיד שגורם לגוף לנוע בתנועה (קוותית/מעגלית) ולכן גודלו שווה (הקף בעיגול את הנוסחה הנכונה):

$$.2. F_{\text{חכ'}} = \frac{mR}{V^2}$$

$$.1. F_{\text{חכ'}} = \frac{mV^2}{R}$$

$$.4. F_{\text{חכ'}} = \frac{mR^2}{V^2}$$

$$.3. F_{\text{חכ'}} = \frac{mV^2}{R}$$

רשום את הנוסחה הנכונה:

$$.5. F_{\text{חכ'}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

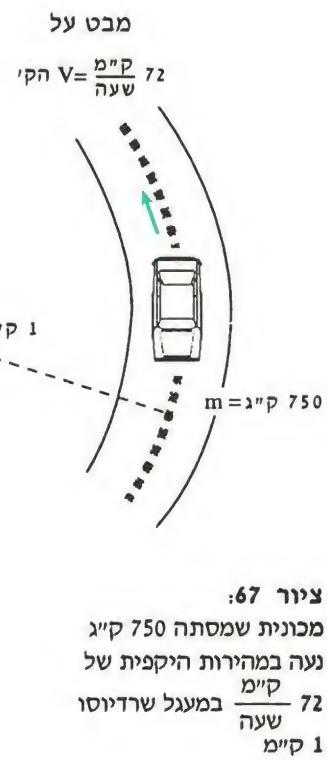
הציב את המספרים ותקבל:

$$.6. \underline{\hspace{2cm}} = 300 \text{ ניוטון}$$

4. נשים לב: כוח החיכוך הוא מוגבל. לכן, מוכנית **תחליק** אם היא תיכנס לסייע במהירות הגדולה מזאת הנתונה בקשר:

$$F_{\text{חכ' מקסימלי}} = \frac{mV^2}{R}$$

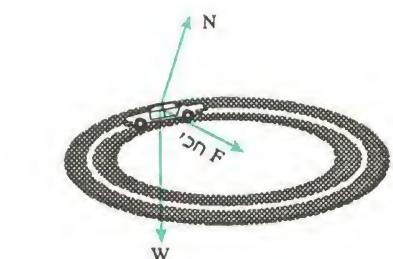
( $F_{\text{חכ' מקסימלי}}$  הוא כוח החיכוך המרבי שהכביש עשוי להפעיל על המוכנית המסתובבת).



במהירות העולה על זהקי הרשותה בנוסחה, תזוב המכונית את המסלול המוגלי ותמשיך לנוע בכיוון המשיק למוגל שבו הייתה אמורה לנוע. הסיבה היא כי כוח החיכוך המקסיימלי אינו מספיק גדול כדי להחזיק את המכונית במסלול המוגלי הנוכחי. לכן, נаг מנוסה זההיר מאט לפני סיבוב, מיוחד כאשר הכבש רטוב וכוח החיכוך שהכבש מפעיל (קטן/גדול).

5. ראיינו כי כוח החיכוך הוא הגורם למכונית לנוע בתנועה מעגלית. כוח החיכוך פועל (2) (במאונך/במקביל) לכבש. הכבש מפעיל על המכונית כוח נוסף. כוח זה הוא כוח (3) (הכבד/הנורמל) א הפעיל כלפי מעלה/מטה) (צירור 68).

נזכיר כי כוח הנורמל הוא הכוח שפועל משטח על גוף במאונך לו. כוח זה תגובה של כוח העתקה שפועל הגוף על המשטח.

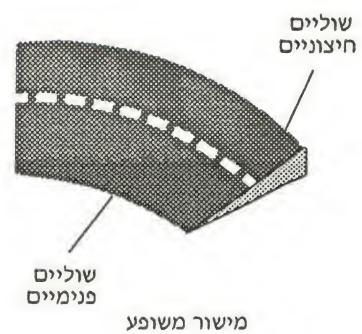


צירור 68: חזק מכוח החיכוך Fחכ' מפעיל הכבש על המכונית כוח טרמל א כלפי מעלה



כוח הנורמל בכבש אופקי אינו משפיע ישירות על התנועה המעגלית כי הוא (4) (מקביל/באלכסון/מאונך) למשור הכבש האופקי בו נמצא מוגל הסיבוב ולכן הוא מאונך לכיוון רדיוס מוגל הסיבוב. כוח מאונך לרדיוס מוגל התנועה אינו גורם לתנועה סיבובית.

6. כיצד פועל כוח הנורמל כאשר הכבש מוגבה? כבש מוגבה (צירור 69) בניו כך שהשולים החיצוניים שלו מהווים קצה של מדרון ביחס לשוליו הפנימיים. אם "נחתוך" את הכבש לרוחבו תהיה לו צורה של משור משופע (מדרון) (צירור 70). הזרות א' היא זווית ההגבלה של השולים החיצוניים יחסית לפנימיים.



צירור 69: כבש מוגבה



צירור 70: חתך רוחב של כבש מוגבה

נניח שהכਬיש המוגבה חלק לחלווטין. במצב כזה לא יפעל על המכוונית **7.** כוח **5** (קובד/נורמל/חיכוך).

הכוחות שיפעלו על המכוונית יהיו הנורמל **N** **6** (המאונך/המקביל) לממדרון וכוח המשיכה **W** (ציפור 71). כאשר מכוונית מסתובבת על פני כביש מוגבה, שבו שלולים הנומוכים נמצאים מימין לשולליים הגבוהים, רדיוס המעלג מכוון ימינה, והוא מקבל למשור הקרקע.

**7.** מהו הכוח הגורם למכוונית לנوع בתנועה מעגלית?  
כוח זה חייב להיות מכוון אל מרכז מעגל התנועה **0**, כלומר **7.1** (מאונך/מקביל) לרדיויס **R**. כוח כזה אינו נראה במפורש בציור 71. אולם אם נשים לב היטוב, הנורמל **N** נוטה בזווית **8** (קטינה/גדולה) מ- $90^\circ$  ל-**R**.

מכאן שלכוח הנורמל **A** יש **רכיב** הפונה בכיוון **R**. רכיב זה הוא הכוח הגורם לתנועה המעגלית.

כדי למצוא את הרכיב הנ"ל **9** יש לפרק את **N** לרכיבים. האחד **N\_R** בכיוון הרדיוס **R** והשני **N\_\perp** (באלכסון/במאונך) ל-**R** (ציפור 72).

**10.** **N\_R** הוא הגורם לתנועה **10** (בקו ישר/מעגלית), לכן:

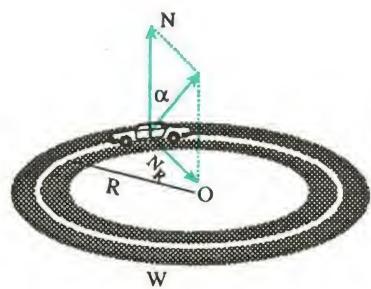
$$N_R = m \frac{V^2}{R}$$

чисובים מראים שעבור אותו רדיוס סיבוב **R**, ככל שזווית ההגבהת **11** **N\_R** (גדול/קטן) יותר ולכון מהירות הhippity **7.2** שקיי' גדולה יותר. כלומר, אפשר לנوع במהירות יותר גדולה בסיבוב.

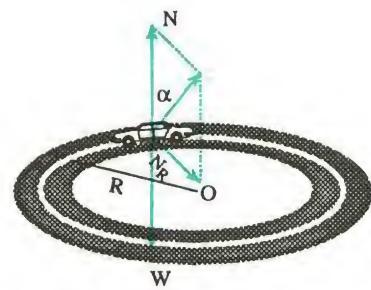
**מסקנה:** כדי להגדיל את הבטיחות בכבישים הסיבוביים ולמנוע החליקות, בונים את הכבישים האלה בצורה של כביש מוגבה.

**נסכם:**

- הרכיב האופקי של כוח הנורמל **A** בכביש מוגבה הוא הגורם לתנועה המעגלית.
- ככל שזווית ההגבהת **12** גדולה יותר מהירות התנועה המעגלית המותרת גדולה יותר.



ציור 71: כוח הכבש **W** וכוח הנורמל **N** הפועלים על מכוונית בכביש מוגבה חלק. רדיוס השיבוב מכוון ימינה (בקו ישר/מעגלית), במקביל לקרקע.



ציור 72: הנורמל **N** ממורק לשני רכיבים: הרכיב **N\_R** גורם לתנועה המעגלית.



9. הרכיב של כוח הנורמל הפועל על מכונית בכיוון R הוא

$$N_R = 625$$

מסת המכונית 250 ק"ג. מהי מהירות ההיקפית אם רדיוס הסיבוב

90 מטר?

הציב את הנתונים לתוך הנוסחה של  $N$  שבסעיף 8.6.2. התוצאה

$$\text{המתבבלת היא } 15 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = 7 \text{הקי.}$$

1

---



---



---



---



---

10. העבודה ההנדסית של בניית כבישים באופן מוגבה נקראת "הגבהה

מעקמים". בכביש מוגבה לא חלק, נוסף לכוח  $N$  גם כוח <sup>2</sup>חיכוך,

המכוון למרכז הסיבוב. כוח <sup>2</sup>חיכוך זה \_\_\_\_\_ (מגדיל/מקטין)

את הכוח המעשי (השקלול) שפועל על המכונית בכיוון מרכז הסיבוב,

כ噫 הוא פועל <sup>3</sup>\_\_\_\_\_ (באותנו כיוון/בכיוון מנוגד) לכוח  $N$ ,

התוצאה מכ <sup>4</sup>\_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה) מהירות ההיקפית

הモתרת בתנועה המוגלית.

נסכם:

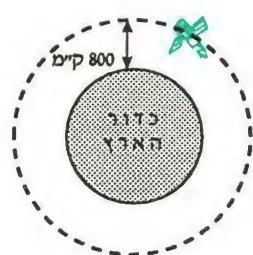
הגבהה מעקמים מאפשרת מהירות היקפית גדולה יותר בתנועה מעגלית בכבישים סיבוביים.



## 2. התאוצה הרדיאלית בחלל

1. לוויינים רבים סובבים עתה סביב כדור הארץ, ביניהם אנו מוצאים לווייני תקשורת שתפקידם להעביר שידורי רדיו וטלזיה. כמו כן קיימים לווייני מחקר הסובבים ואוסף נתונים פיסיקליים הקשורים לאטמוספירה ולהשפעת השימוש על כדור הארץ. גם ישראל הצטרכה לאחרונה ל"מועדון בעלי הלוויינים בחלל".

2. התעשייה האוירית הישראלית שלחה באמצעות טיל את לווייני החקר אופק 1 ואופק 2. מפרטים בעיתונים נודע כי הלוויין אופק 1 מסתובב במרחק ממוצע של 800 ק"מ מפני כדור הארץ (צירוף 73). כדי לוויין יסתובב סביבה כדור הארץ בתנעה מעגלית, חיבר לפועל עליו כוח בכיוון <sup>1</sup> (משיק/מרכז) מעגל התנועה. כוח זה הוא כוח המשיכה  $\mathbf{F}$  השווה ל <sup>2</sup> (mV/mg) שפועל בכיוון מרכז כדור הארץ.



צירוף 73:

לוויין אופק 1 מסתובב סביבה כדור הארץ במרחק ממוצע של 800 ק"מ מפני

3.  $\frac{\text{כוח}}{\text{משקל}} = \frac{v^2}{R}$  כיוון, ערכו של  $\frac{v}{R}$  על פני כדור הארץ הוא <sup>3</sup> (1/5/10)  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$  (ניוטון/ק"ג). لكن אם לוויין בעל מסה של 500 ק"ג יסתובב בתנועה מעגלית בדיק על פני כדור הארץ (צירוף 74) הכוח שיפעל עליו יהיה 5000 ניוטון.



צירוף 74:

על לוויין המסתובב בדיק על פני כדור הארץ פועל כוח

$$W = mg$$

$$g = \frac{\text{כוח}}{\text{משקל}} = \frac{\text{טוטון}}{\text{שניה}^2}$$

4.  $\frac{\text{כוח}}{\text{משקל}} = \frac{v^2}{R}$  ערכו של  $\frac{v}{R}$  הולך ו- <sup>4</sup> (קטן/גדל) ככל שתרחקים ממרכז כדור הארץ.

5. הלוויין אופק 1 מסתובב סביבה כדור הארץ בגובה של <sup>5</sup> ק"מ מעל פני כדור הארץ. לכן, ה- $\frac{v}{R}$  הנמדד בגובה זה הוא קטן מ-10  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$  וגודלו בערך <sup>6</sup>  $\frac{8}{\text{שניה}^2}$ .

5. נחשב את מהירותו ההיקפית של אופק 1.

פתרונות:

נתונים:

$$g = \frac{\text{כוח}}{\text{משקל}} = \frac{\text{טוטון}}{\text{שניה}^2}$$

$$R = \frac{\text{טוטון}}{\text{טוטון}} = \frac{800 \text{ ק"מ} + 6400 \text{ ק"מ}}{6400 \text{ ק"מ}} = \frac{7200 \text{ ק"מ}}{6400 \text{ ק"מ}} = \frac{9}{8} \text{ ק"מ}$$

6.

נשים לב כי רדיוס הסיבוב של אופק 1 נמדד ממרכז כדורי הארץ.

? = מהירות היקפית של אופק 1.

הכוח הפועל על אופק 1 הוא:  $m \cdot 8$

ולכן:

$$8 \cdot m = \frac{m \cdot V_{\text{הק'}}^2}{R}$$

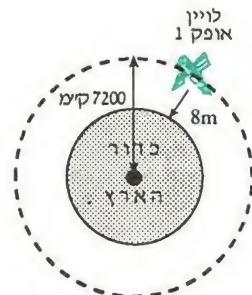
$$8 = V_{\text{הק'}}^2 / R$$

נמצא ב- $m$  ונקבל:

$$V_{\text{הק'}} = \sqrt{8 \cdot 7.2 \cdot 10^6}$$

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = V_{\text{הק'}} \quad 1$$

$$\frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}} = V_{\text{הק'}} \quad 27,324$$



ציור 75:

לוין אופק 1 מסתובב במרחק 7200 ק"מ ממרכז כדורי הארץ. פועל עליו כוח של 8m (m הוא מסת הלוויין).

5. מהו זמן המחזור  $T$  של אופק 1? ככלומר, כמה זמן הוא מקיף הקפה שלמה אחת את כדורי הארץ (ציור 75)?

$$V_{\text{הק'}} = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{מהירות היקפית}$$

$$T = \frac{2\pi R}{V_{\text{הק'}}} \quad \text{מכאן}$$

$$T = \frac{2\pi \cdot 7.2 \cdot 10^6}{V_{\text{הק'}}} \quad 2$$

$$\text{שניות} = T \quad 3$$

שנים שעה ו-40 דקות. 4

ככלומר, כל פרק זמן של \_\_\_\_\_ יימצא אופק 1 מעל אותו מקום מעל פני כדורי הארץ.

6. קרא באנציקלופדיה בריטניקה לנוצר, כרך ט' בעמ' 119 בערך

"לויין", וענה על השאלות הבאות:

א. האם פועל כוח על הלויין, מי מפעיל אותו ובאיזה כיוון הוא

פועל?



1

---



---



---

ב. ציין מספר שימושים ללויינים המשוגרים מכדור הארץ.

2

---



---



---

## 1.2. תנועה סיבובית בסדנה

### וירץ הנגלג (קיהלהט ייבט)

כמעט כל המכשירים החשמליים בסדנה פועלים בתנועה סיבובית. לדוגמה: מקדחה, מחרטה, משחוז וכדומה. בעובודה עם מכשירים אלו יש להיזהר מחקיקים העולמים להינתק מהם תוך כדי סיבובם.

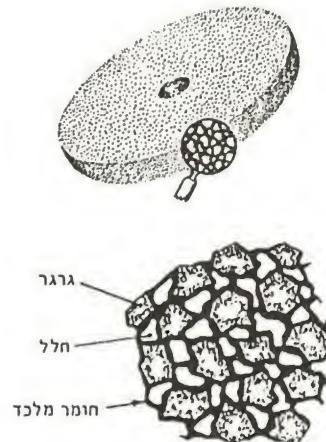
1. המשחוז עשוי גרגירים זעירים העשויים מתרוכובת צורן ופחמן או מחומר נוקשה אחר (ציפור 76).

הgregרים צמודים זה לזה באמצעות דבק. בין הgregרים יש חללי אויר קטנים, הממלאים את תפקיד הרוחחים שבין שני השופון לדוגמה. כתוצאה מהלחץ החומר שימושיפים, משתחרר הגרגר והוא נע בכיוון משיק גלגל המשחוזת.

תפקיד הדבק הוא להפעיל כוח על הgregרים כך שלא "יברכו", כאשר על כל משחוז רשום מספר הסל"ד המירבי שלו. יש לפיקח לחבר אליו את המנוע כך שיסתובב בתדריות שלא תעלה על הסל"ד המירבי.

2. מסת גרגר המרכיב את המשחוז היא 0.1 גרם. רדיוס המשחוז 20 ס"מ ומספר הסל"דים שלו 3000.

באיזה כוח מזערוי דבק הגרגר לשפט המשחוז כדי שלא יינתק ממנו?



ציפור 76:  
המשחוז בני מgregרים נוקשים  
זעירים הצמודים זה לזה  
באמצעות דבק

3.

מסת גרגר המרכיב את המשחוז היא 0.1 גרם. רדיוס המשחוז 20 ס"מ ומספר הסל"דים שלו 3000.

באיזה כוח מזערוי דבק הגרגר לשפט המשחוז כדי שלא יינתק ממנו?

פתרון:

את כוח האחיזה המזערוי של הגרגר נקבל על ידי מכפלת  $\frac{R}{\text{משקל}/\text{מסתו}/\text{נפחו}} \times \text{בתאוצתו הרדיאלית}$  (משקל/מסתו/נפחו)  $\times$  בתאוצתו הרדיאלית  $\frac{R^2}{\text{נפח}^2}$ . אם הגרגר יהיה אחוז בכוח גדול יותר או זראי וdae'i שהוא (לא יינתק/יינתק) משפט המשחוז.



נתונים:  $10 \text{ ק"ג} = 4$  מסת הגרגר  $0.1 \text{ ק"ג} = 0.1 \text{ גרם} = m$

מספר סיבובים לדקה  $5 \text{ סל"ד} = n$

$$n = 60f \quad f = \frac{n}{60}$$

$$6 \quad \frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}} = f \quad \text{תדריות}$$

$$7 \quad \text{מטר} = \text{ס"מ} = R \quad \text{רדיוס המשחוז}$$

כוח האחיזה  $F = ?$

$$F = \frac{m \text{ נפח}}{R}$$

בטיוחות:  
אל תפעיל משחוזת בלי לקבל הוראות הפעלה מהມמונה הישיר במפעול או מההוראה שבסדנה.

נחשב תחילה את מהירות היקפית  $V$ :

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\frac{1}{T} = f \quad \text{למונע ש:}$$

$$V = 2\pi R \quad \text{ולכן: 1}$$

נציב ונקבל:

$$V = 2\pi \cdot \underline{\quad} \cdot 50 \quad \text{2}$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} \quad \text{3}$$

$$F = m \frac{2\pi V^2}{R}$$

$$F = \underline{\quad} \cdot \frac{(62.8)^2}{0.2} \quad \text{4}$$

$$F = 2 \text{ ניוטון}$$

4. ביצעו ניסוי ומצאו כי כוח האחיזה של גראר שמסתו 0.4 גרם במשהו הוא 35.5 ניוטון. מה חייב להיות הסל"ד המירבי של המשחזר שרדיוסו 10 ס"מ כדי שהגרגר לא יינתק ממנו?

פתרונות:

נתונים:

$$\begin{aligned} \text{ק"ג} &= \underline{\quad} \text{ גרם} = \underline{\quad} \text{ מסת הגרגר} & 5 \\ \text{מטר} &= \underline{\quad} \text{ ס"מ} = \underline{\quad} \text{ רדיוס המשחזר} & 6 \\ \text{ניוטון} &= F = \text{כוח האחיזה של הגרגר} & 7 \end{aligned}$$

$$? = ? \text{ מספר הסל"דים}$$

8

נחשב תחילה את מהירות היקפית לפי:

$$F = \frac{m \cdot k \cdot V^2}{R}$$

$$35.5 = \frac{\text{_____}}{\text{_____}} \quad \text{נציב: } \textcircled{1}$$

$$\text{מטר} = \frac{V \cdot k}{\text{שניהם}} \quad \text{מכאן: } \textcircled{2}$$

$$f = \frac{V \cdot k}{2 \pi R}$$

$$f = \text{_____} \quad \textcircled{3}$$

$$f = \text{_____} \quad \textcircled{4}$$

$$n = 60f$$

$$n = 60 \cdot 9000 \text{ סל"ד}$$

נסכם:



בפרק זה למדנו לבחיר את התנועה המוגלית מבחינותיה השונות. הכרנו את מושגי היסוד זמן מחזור, תזרות ו מהירות היקפית. רأינו שבתנועה מעגלית קיימת תאוצה המכוונה אל מרכזו המוגל. כדי לקיים תנועה מעגלית דרוש כוח המכוון באופן תמידי למרכז. מוגל הסיבוב. גודלו של הכוח, או של שקול הכוחות (הכוח המעש), הוא:

$$F = m \frac{V \cdot k^2}{R}$$

$\frac{V \cdot k^2}{R}$  היא התאוצה הרדיאלית - הцентрיפטלית.

הסבירנו את תנועת הסיבובית של כלי רכב על כביש מחוספס וככיבש מוגבה. רأינו כיצד מתקיימת תנועה מעגלית בחלל. כמו כן הסבירנו את התנועה הסיבובית בסדנה.

סיימת בעבר על פרק 2, ענה על שאלות הסיכום שלפניך.  
פנה לרישום היעדים שבתחילת הפרק ובדוק אם הם אכן הושגו.



1. הסבר את המושגים:  
א. זמן מחוזר    ב. תזרירות    ג. מהירות היקפית.

---



---



---



---



---

2. מהי תואזה רדיאלית ובמה היא תלואה?

(2)

---



---

3. מהו הכוח הגורם לתנועה מעגלית בכביש סיבובי, וכייז?

(3)

---



---

4. מהי הגבהה מעקמים? הסבר!

(4)

---



---

5. כיצד נוכל למצוא את מהירותו של לוויין סביב כדור הארץ, אם ידוע גודלו של  $g$  בגובה רדיוס הסיבובי?

(5)

---



---

6. כיצד בניו המשחזר ומהי הסכנה בהפעלתו?

(6)

---



---

7. מהי משמעות "סלайд מירבבי" של משחזר?

(7)

---



---

האם החומר ידוע היטב?  
פנה למורה כדי לקבל הדרכה לkrarat המבחן.





**פרק 3:**  
**תנו וחוק שימור התנע**

---



## פרק 3: תנוע וחוק שימור התנוע

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום נושא הלימוד אתה אמרו:

- להכיר את מושג התנוע ואת ייחידותיו.
- להכיר את חוק שימור התנע.
- לדעת מהי התגשות פלסטית ופתרונה באמצעות שימור התנע.
- לדעת מהי התגשות אלסטית ופתרונה באמצעות שימור התנע.
- להכיר את מושג הרடע ולהבין אותו בעזרת חוק שימור התנע.
- לדעת לחשב מהירות של קליעים.
- להכיר את תהליכי התגשות בכור אוטומי.
- להבין את תנועותם של רובה והקליע שלו.
- להכיר את התנועה הסילונית.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנים הוושגו.



### 3. א. מבוא

1. בפרקים הקודמים רأינו כיצד מחשבים תואצוה של גוף כתוצאה מכוח אחד או מספר כוחות שפועלים עליו. ידיעת התואצאה מאפשרת לחשב את מהירותו של הגוף בכל רגע ורגע. ב�בב, במדוע, בטכנולוגיה ובחיה היום-יום ישנים מצבים שבהם משתנה מהירותם של מספר גופים. מדובר על שינוי במהירות הנובע כתוצאה מפעולות גומליין של הפעלת כוחות של הגוף זה על זה.



2. להלן דוגמאות מספר של מצבים כאלה:

1. התנגדות בין כלי רכב. כל אחת מהמכוניות מפעילה כוח על השניה. כתוצאה מכך, מהירותו משתנה (נשארת קבועה).
2. אדם קופץ מרכב נושא או ילד קופץ מעגלת. הילד מפעיל כוח על העגלת והעגלת משתנה (מפעילה/לא מפעילה) כוח על הילד. לדוגמה, אם העגלת הייתה במנוחה, לאחר האירוע, ככלומר לאחר שהילד משתנה (קפץ מ-/נחת על) העגלת, העגלת תנוע.
3. ירי כדורי מרובה (ציפור 77), או אופן כללי, פלייטת קליע מכלאי ירי. במצב כזה הקליע נע לכיוון אחד והרובה נרתע לאותו כיוון/לכיוון נגדיו.
4. התנגדות בין פרודות האווריר תוך כדי מעופן, או התנגדות בין כדורי ביליארד (ציפור 77).
5. חידרת גוף חד לתוך גוף אחר, כגון חידרת קליע לתוך שק (ציפור 77). השק והקליע ינועו ביחד (לפניהם/לאחר) ההתנגדות.



3. בפרק זה נלמד גישה פיסיקלית אחרת, שבאמצעותה נוכל לחשב את מהירותיהם של גופים לאחר פעולה גומליין ביניהם. לשם כך נגיד מושג חדש בשם תנוע וננסח חוק חדש - חוק שימור התנוע.



פעולות גומליין - הפעלת כוחות של גופים זה על זה.



ציפור 77:  
 מצבים שבהם קיימת פעולה גומליין בין גופים, הגורמת לשינוי מהירותם

### 3. ב התנוע ויחידותיו

1. נזכיר עתה את מושג התנוע. תנוע של גוף הוא מכפלת מסתו  $m$  ב מהירותו  $V$ :  $P = m \cdot V$ . סימנו של התנוע הוא  $P$ .

$$\textcircled{1} \quad P = \boxed{\quad} \cdot V$$

תנוע  $P$  הוא המכפלה של  $m \cdot v$ . מכפלת מסת גוף  $m$  ב מהירותו  $V$  נקראת תנוע הגוף  $P$ . תנוע הוא גודל וקטורי שכיוונו בכיוון מהירות הגוף  $V$ .

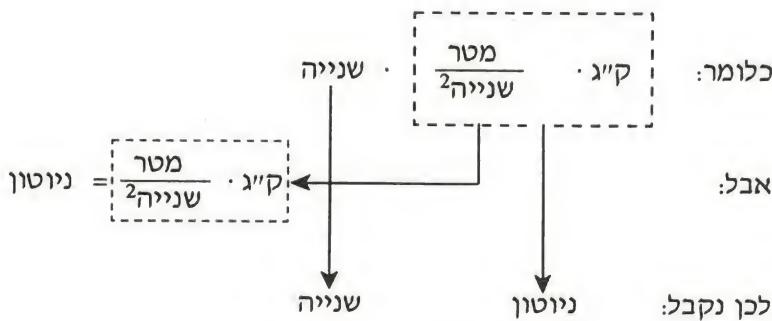


2. יחידת התנוע מתΚבלת על-ידי  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שניה}}$  (חיבור/מכפלת/חילוק/חיסור) היחידה של המסה  $m$  (ב/ל) יחידת המהירות  $V$ .  
 יחידת המסה היא: ק"ג.  
 יחידת המהירות היא: מטר.  
 לכן יחידת התנוע היא:  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שניה}}$ .

ונכל לקבל את יחידת התנוע גם בצורה אחרת:  
 נכפיל בשניה את ה-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$  במונה ובמכנה.

$$\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}{\text{שניה} \cdot \text{שניה}} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$$

$$\text{נקבל: } \frac{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}{\text{שניה} \cdot \text{שניה}} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$$



יחידת התנוע היא  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}{\text{שניה}}$  או ניוטון · שניה



3. נחזרו: תנוע הוא המכפלה  $P = (ma/mV/mx)$  \_\_\_\_\_.

יחידות התנוע הן: (ק"ג ·  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}/\text{ניוטון}$  · מטר/ניוטון · שנייה/ $\frac{\text{ניוטון}}{\text{מטר}}$  ·  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}^2/\text{ק"ג} \cdot \text{ניוטון}/\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}})$  \_\_\_\_\_.

② רשות את היחידות הנכונות: \_\_\_\_\_ או \_\_\_\_\_.

#### 4. תנוע של גופים שונים

מכונית שمسתה 1 טון נעה ב מהירות  $36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  ימינה (צירור 78). מהו התנוע שלו?

פתרונות:

נתוניים:

$$\text{ק"ג} = 1 \text{ טון} = m \quad \text{מסת המכונית}$$

$$\text{מהירות המכונית} = \frac{36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}}{10} \quad \text{ק"מ} = V \quad \text{הירות המכונית}$$

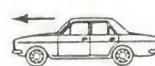
תנוע המכונית

$$P = ?$$

$$P = mV$$

$$P = 1000 \cdot \frac{36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}}{10} \quad \text{ק"מ} = V \quad \text{הירות המכונית}$$

$$P = 10,000 \frac{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}{\text{שניה}}$$

$$V = \frac{36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}}{1} \quad \text{ק"מ} = V \quad \text{הירות המכונית}$$



ב א

צירור 78

מכונית א' שמסתה 1 טון נעה ב מהירות  $36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  ימינה. מכונית ב' נעה שמאלה באותו גודל של מהירות.

5. מהו התנוע של מכונית זהה הנעה באותו מהירות אך בכיוון שמאלה? (כיוון ימינה הוא חיובי וכיוון שמאלה שלילי).

פתרונות:

הפעם סימנה של המהירות הוא \_\_\_\_\_ (חיובי/אפס/שלילי) וולכן:

$$P = \pm 10,000 \text{ נט"י} \cdot \text{שנ"י}$$

$$P = \boxed{\quad} \quad \boxed{\quad} \quad \boxed{\quad} \quad \text{ק"מ} = V$$

ערץ ייחדות סימן

$$36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}} = V \quad \text{הירות המכונית}$$



(-36)  $\frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$

צירור 79

התנוע הכולל של שתי מכוניות בעלות תנע שווה והפוך בסימן, הוא אפס.

אם נזכיר את התנוע של שתי המכוניות הרי התנוע הכולל שלן הוא  $(10,000/0/10,000) \cdot \text{שנ"י} = 0$  \_\_\_\_\_.

6. מהו התנוע של קליע ברגע שהוא יוצא מולע האקדח (צירור 80), אם

$$\text{מסתו } 5 \text{ גרם} = m \text{ ומהירותו } 600 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = V?$$

פתרונות:

נתונים:

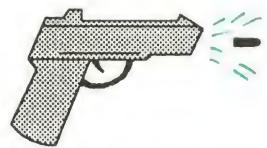
$$\begin{array}{l} \text{מסת הקליע} \\ 5 \text{ גרם} = m \\ \hline \text{מהירות הקליע} \\ V = \frac{\text{---}}{\text{---}} \end{array}$$

תנוע הקליע  $P = ?$

$$P = m \cdot \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad 3$$

$$P = 0.005 \cdot \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad 4$$

$$P = \frac{3 \text{ ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}}{\text{---}}$$



צירור 80:

מסת הקליע 5 גרם  
מהירותו  $600 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$

התנוע שלו חיובי.

התנוע של האקדח שלילי.

התנוע של הקליע לפני לחיצת הדק האקדח היה  $\frac{\text{---}}{\text{---}} (0/-3/3)$  <sup>5</sup>  
 $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$ . <sup>6</sup> זאת, לפני שהקליע היה במצב של  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$  (מנוחה/  
תנועה).

ידוע לנו כי בזמן ירייה האקדח נרתע לאחרו, כלומר שכיוון  
מהירות האקדח  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$  <sup>7</sup> (הפוך/זיהה) לכיוון מהירות הקליע. סימן  
תנוע הקליע הוא חיובי, אך סימן התנוע של האקדח יהיה  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$   
(שלילי/חיובי/אפס). <sup>8</sup>

<sup>9</sup> לפני הירי, האקדח היה  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$  (במצב של תאוצה/  
מנוחה/במצב של מהירות קבועה), אך התנוע שלו היה  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$   
(חיובי/שלילי/אפס).

7. קליע שמסתו 5 גרם = m נורה לתוך שק שמסתו 495 גרם = M  
(צירור 81).

מהירות השק עם הקליע לאחר הפגיעה היא  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$  מטר/שניה.

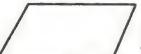
מהו התנוע של הקליע עם השק?

פתרונות:

מסת השק עם הקליע שווה ל  $\frac{\text{---}}{\text{---}}$  <sup>11</sup> (סכום/הפרש/מכפלת)  
המסות, כלומר  $m + M$ .

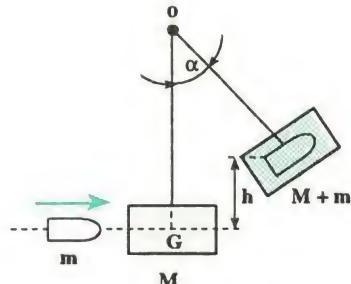
2.3

נתונים: 1  
 $ק''ג = 495$  גראם  $M =$  מסת השק

$m =$  מסת הקליע 2  
 $m =$  

$U =$  מהירות השק עם הקליע  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$

התנוע של השק עם הקליע  $P' = ?$



אנו מסמנים את התנוע של הקליע עם השק ב- $P'$  ואת מהירותם המשותפת ב- $U$ .

$$P' = (M + m) \cdot U$$

$$P' = (0.495 + 0.5) \cdot 5 \quad 3$$

$$P' = \boxed{1} \quad 4$$

הערה:

1.  $U$  מסמן לרוב מהירות לאחר התנגשות.
2.  $P'$  מסמן את התנוע לאחר ההתנגשות.

8. מהירות הקליע המוזכר בסעיף הקודם הייתה לפני ההתנגשות

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = 200$$

חשב את התנוע שלו.

פתרונות:

נתונים:

$m =$  מסת הקליע 5  
 $m =$  

$V =$  מהירותו לפני ההתנגשות 6  
 $V =$  

התנוע שלו הוא:  $P =$  7

$1 \text{ ניוטון} \cdot \text{שניה} =$

ב.3

9. גולת שמסתה 5 גרם  $m_1 = 5$  נעה ימינה במהירות 4 מטר/שניה. חשב את התנע שלה:

פתרונות:

נתונים:

$$m_1 = 5 \text{ גרם} \quad \text{מסת הגולת}$$

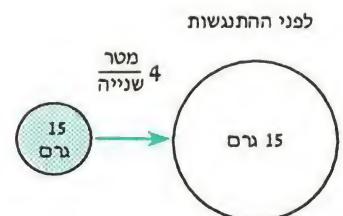
$$V_1 = \boxed{\text{---}} \quad \text{מהירות הגולת}$$

$$P_1 = ? \quad \text{תנע הגולת}$$

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}$$

$$P_1 = 0.02 \text{ ניוטון} \cdot \text{שניה}$$

10. גולת זו (ציור 82) פוגעת במסה  $m_2$  הגדולה ממנה פי 3 ונרתעת שמאלה במהירות  $(-2)$  מטר/שניה. לאחר ההתנגשות  $m_2$  נעה ימינה במהירות 2 מטר/שניה. חשב את התנע על המסות לאחר הפגיעה.



פתרונות:

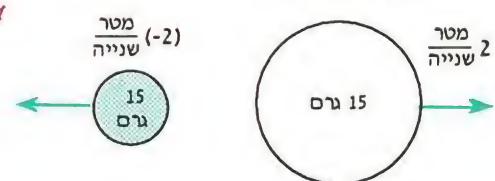
נתונים:

$$m_1 = 15 \text{ גרם} = 0.015 \text{ ק"ג} \quad \text{מסת הגולת}$$

$$V_1 = \boxed{\text{---}} \quad \text{מהירות הגולת לאחר ההתנגשות}$$

$$P_1' = ? \quad \text{תנע לאחר ההתנגשות}$$

(כאמור, סימון התנע לאחר ההתנגשות הוא  $P_1'$ )



ציור 82:

גולת  $m_1$  פוגעת במסה הגדולה ממנה פי 3,  $m_2 = 3m_1$ , והנמצאת במנוחה. לאחר ההתנגשות  $m_1$  נרתעת לאחר  $-1$  מתקדמת. מהירותון לאחר ההתנגשות שווה בגודלה והפוכה בכיוונה.

$$P_1' = \boxed{\text{---}} \quad \text{תנע}$$

$$P_1' = \boxed{\text{---}} \quad \text{תנע}$$

$$m_2 = 3 \cdot 5 = 15 \text{ גרם} = 0.015 \text{ ק"ג} \quad \text{מסת הגולת הנפוגעת}$$

$$V_2 = \boxed{\text{---}} \quad \text{מהירות הגולת לאחר ההתנגשות}$$

$$P_2' = \boxed{\text{---}} \quad \text{תנע של } m_2 \text{ לאחר ההתנגשות}$$

$$P_2' = 0.03 \text{ ניוטון} \cdot \text{שניה}$$

11. מהו התנועה הכוללת של המסות לאחר התנגשות?

$$P' = P'_1 + P'_2$$

$$P' = (-0.01) + \underline{\hspace{2cm}} \quad (1)$$

$$P = 0.02 \cdot \text{שנייה}$$

12. לפניך מתכן שבאמצעותו תוכל למדוד תנוע של כדור מתחת צייר 83). התנוע של הכדור תלוי ב \_\_\_\_\_ (משקל/מסתו/נפח/שטח פניו) וב \_\_\_\_\_ ( מהירותו/תאוצתו). את מסת הכדור תמצא על-ידי שקלתו במאזני כף.



מכו' 141

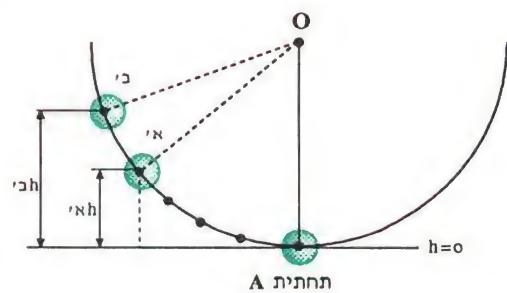
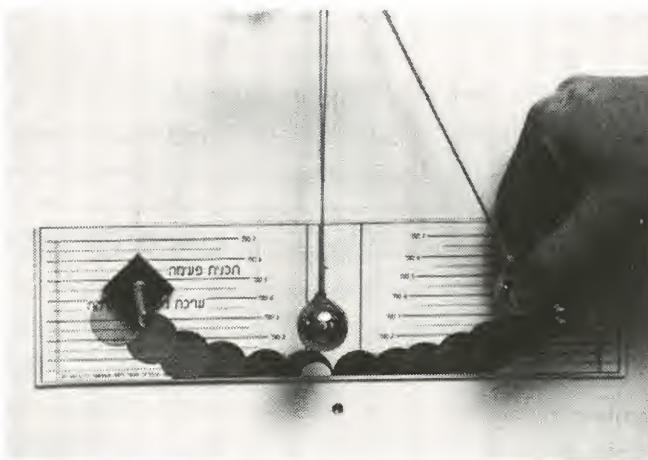
$$m = \Sigma \lambda_j \underline{\hspace{2cm}} \quad \text{---} \quad m = \lambda'' \bar{P} \underline{\hspace{2cm}} \quad \text{---}$$

ה. הרם את הצדור הקשור לחבל לגובה 4א' (גובה מצב א') נתון  
והפל אותו.

ב. הרם את הצדור הקשור לחבל לגובה, גבוח יותר אב' לגובה מצב ב') והפל אותן.

**מתי, לדוגמה, תהיה הצורך גדולה יותר תחתית?**  
**(במצב א' / במצב ב' / בשני**

לנוחיותך סומנו על לוח המתקן מהירות הcador שיתקבלו בתחתית A כאשר הוא מופל מגבאים שונים. וכך לכל גובה סימנו מהירות שונה. ככל שהגובה יהיה רב יותר כך המהירות בתחתית תהיה (קטנה/גדולה) יותר.



### ציור 83: מתקן מדידת תנועת גולה בתתית A.

13. תנועה הגדור הוא:

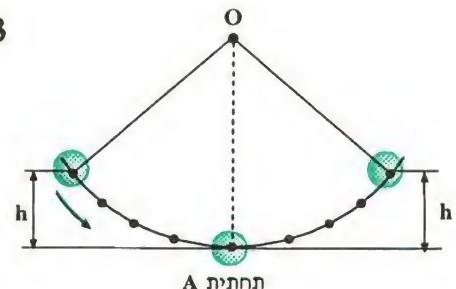
$$P = mV$$

$$P = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}}$$

$$2 \quad P = \underline{\hspace{2cm}}$$



1



תחתית

ציור 84:

שני כדרורים בעלי אותה מסה, שנופלים משני צידי המתקן מאותו גובה

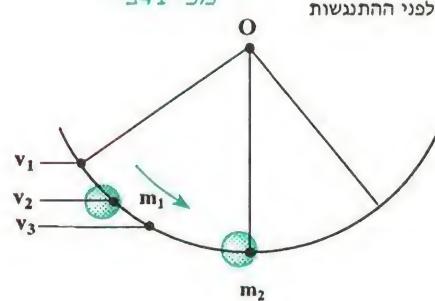
14. שני כדרורים בעלי אותה מסה, שנופלים משני צידי המתקן מאותו גובה  $h$  (ציור 84), יהיה בנקודות התחתית A תנוע שגודלו המוחלט  $P$  (שווה/שונה) אך סימנו  $3$   $4$  (שווה/הפוך).  
 $5$  התנוע הכלול שלהם, כולל סכום התנועים, הוא  $6$  (התנוע של כדור אחד/התנוע של הגדור השני/אפס).

15. לפניך שני כדרורים תלויים (לשנייהם אותה מסה). הרם אחד מהם  $m_1$  עד לנוקודה הגבוהה ביותר שבמתקן (ציור 85).



מכי 14ב'

לפני ההתנגשות



7

8

9

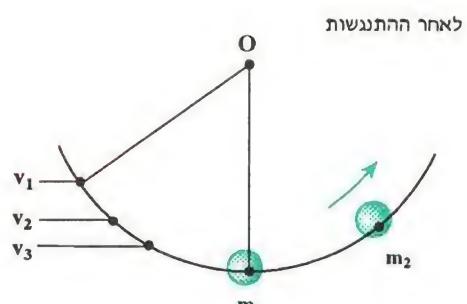
10

$$P_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}$$

$$P = \frac{\text{מטר}}{\text{ק"ג} \cdot \text{שניה}}$$

לאחר ההתנגשות, כדור  $m_1$   $10$  (המשיך לנוע/נעוץ).  
 הגדור  $m_2$  הגיע לגובה המתאים למהירות  $11$  (השווה ל/השונה מ) מהירות הגדור  $12$  ברגע שפגעה בו.  
 בצע את הניסוי מספר פעמים והיווכח שאכן מסת  $m_1$  נעצרה ומסת  $m_2$  נעה באותה מהירות שבה פגעה מסת  $m_1$ .

הערה: בගל סיבות רבות (חיכוך וכו') הגדור  $m_2$  לא יגיע בדיקת גובה המתאים למהירות בה פגע בו הגדור  $m_1$ .



ציור 85:

מסה  $m_1$  השווה לנוקודה למסה  $m_2$  מוגעת ב- $m_2$  הנמצאת במנוחה.

לאחר ההתנגשות תנוע  $m_2$  ב מהירות  $13$  שבה פגעה בה.  $14$  תעצור.

### ג.3 חוק שימור התנוע

1. עד עתה למדנו לחשב את התנועה של מסות נעות.

ראינו כי יש לייחס לתנוע סימנים של כיוון( $\pm$ ). סימנו של התנוע של מסה הנעה ימינה הוא חיובי(+). סימן התנוע של מסה הנעה שמאלה

במנוחה **הוא** (חויבי/שלילי/אפס). במנוחה **הוא** (חויבי/שלילי/אפס).

2. ראיינו שלאחר פעולות גומליין, עשוי התנועה של הגוףים להשתנות. החוק שקובע את הקשר בין התנאים של הגוףים לפני פעולה הגוףין ולאחר מכן הוא חוק שימור התנועה (ציור 86). כאשר פעולה הגוףין היא בין שני גופים, שנעים על קו ישר בלבד, חוק שימור התנועה ייכתב כז:

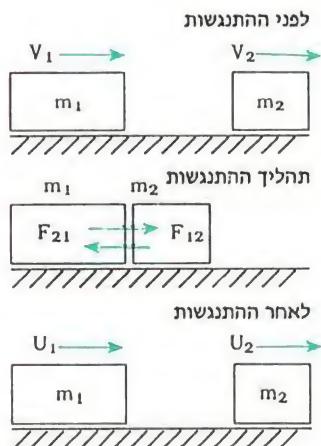
$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

ט	<p>מצין את המהירות הגדלים לפני הפעלת הכוחות החודדים</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- פעולה גומלי (כמו לפני התנגשות בין הגוף).</li> <li>מצין את המהירות לאחר פעולה הגוף.</li> </ul>
ו	<p>מצין את מהירות הגוף לפני הפעלת הכוחות החודדים</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- פעולה גומלי (כמו לפני התנגשות בין הגוף).</li> <li>מצין את המהירות לאחר פעולה הגוף.</li> </ul>
ז	<p>מצין מסה מס' 1.</p> <p>מצין מסה מס' 2.</p>
א	<p>מצין מסה מס' 1.</p>

באגן שמאל של משווהת שימור התנוע רשות סכום התנעים של שתי  
המסות לפני פועלות הגומلين. באגן ימינו רשות סכום התנעים \_\_\_\_\_  
(לפני/אחריו) הפעלת הכוחות.

כאשר מדובר בשתי מסות  $m_1$  ו-  $m_2$  שהתנגשו, יהיה סכום התנועים של המסות לפני התנגשות  $m_1 V_1 + m_2 V_2$  \_\_\_\_\_  $(m_1 U_1 + m_2 U_2)$

$$\text{שווה לסכום התנעים לאחר ההתנגשות} \quad .(m_1 U_1 + m_2 U_2)$$



צ' 86

בין המסות  $m_1$  ו- $m_2$  קיימת  
פעולות גומליין. סכום התנועים  
של המסות לפני פעולה  
הgomliyan shuva lo shachrura.

חוק שימוש התנוע: כאשר שני גופים מפעילים כוחות זה על זה וcotzachah מכך משתנה מהירותם, סכום התנועות שלהם לפני פעולה הוג�לון שווה לסכום התנועות לאחר מכן.

$$(m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2)$$



את חוק שימור התנועה אפשר לאשר על ידי החוק השלישי של ניוטון (חוק הפעולה והתגובה) (ציפור 87).

נזכיר: החוק השלישי של ניוטון אומר, שכאשר גוף אחד מפעיל כוח על גוף שני, הגוף השני מפעיל על הגוף הראשון אותו כוח בכיוון נגדי. או: אם גוף 1 מפעיל כוח  $F_{12}$  על גוף 2 הרי גוף 2 מפעיל כוח  $F_{21}$  על

גוף 1  $\rightarrow -F_{21} = F_{12}$ .  
 הכוח  $F_{12}$  פועל על המסה  $m_2$  ( $m_1/m_2$ ) כיוון <sup>2</sup> (ימינה/ שמאלה) ולכן סימנו <sup>3</sup> +.  
 הכוח  $F_{21}$  פועל על המסה  $m_1$  ( $m_1/m_2$ ) כיוונו שמאלה ולכן סימנו <sup>4</sup>  $-/+$ .

כאשר כוח  $F$  (הכוח המשי - השקל) פועל על מסה  $m$  הוא גורם לתאוצה.

$$F = ma$$

$$a = \frac{V_t - V_0}{\Delta t} \quad \text{התאוצה לפי ההגדרה היא:}$$

$\Delta t$  זמן הפעלת הכוח

$V = V_0$  מהירות התחלתית של הגוף

$V_t = U$  מהירותו הסופית

$$a = \frac{U - V}{\Delta t} \quad \text{מכאן}$$

נציב את נוסחת התאוצה בנוסחת הכוח ונקבל:

$$F = m \cdot \frac{U - V}{\Delta t} = \frac{mU - mV}{\Delta t}$$

$F$  הוא הכוח (המשי-השקל) הפועל על המסה  $m$ .

נכפיל את המשווה האחרון ב-  $\Delta t$  ונקבל:

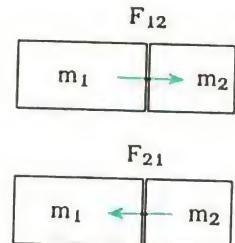
$$F\Delta t = mU - mV$$

5

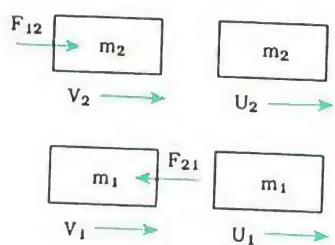
באג השמאלי של המשווה קיבלנו את הכוח כפול (מרחק התנועה/זמן פעולה). גודל זה נקרא בשם מתקף. ממשווה זאת עולה כי המתקף גורם לשינוי בתנוע (ציפור 88).

א. מתקף - מכפלת כוח הפעול על מסה בזמן פעולה  $F\Delta t$ .

ב. המתקף גורם לשינוי בתנוע.  $F\Delta t = mU - mV$ .



ציפור 87:  
 חוק השלישי של ניוטון:  
 גוף 1 מפעיל כוח  $F_{12}$  על  
 גוף 2.  
 גוף 2 מפעיל אותו כוח על  
 גוף 1 אך בכיוון נגדי,



ציפור 88:  
 שינוי התנועה של מסות  
 המתנשאות כתוצאה  
 מהמתקפים שהן מפעילות  
 זו על זו

## 2.3 התנגשות פלסטית ואלסטית

### א. התנגשות פלסטית

1. כאשר כתוצאה מההתנגשות בין שני גופים נוצר חום, תכונה

התנגשות **פלסטית**.

במצב שבו לאחר התנגשות יגעו הגוף המתנגשים צמודים זה לזה במהירות משותפת, ייווצר ללא ספק חום. התנגשות זו תכונה בשם התנגשות **פלסטית**.

אם המסות ייעצרו לאחר התנגשות **1** (יווצר/לא ייווצר) חום, וגם התנגשות זאת תכונה התנגשות **פלסטית**.

### 2. התנגשות פלסטית בין כלי רכב

קרון רכבת שנע בכיוון ימינה במהירות  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  נצמד לקרון אחר הנמצא במנוחה. מסת כל אחד מהקרונות 2 טון (ציוויל 92). מהי המהירות המשותפת של הקרונות **U**?

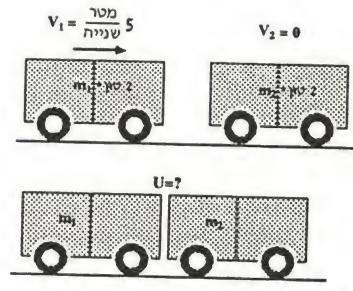
פתרונות:

נתונים:

$$2. \quad \text{טון} = 2000 \text{ ק"ג} \quad m_1 = m_2 = 2000 \text{ מסות הקרונות}$$

$$5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} = v_1 \text{ מהירות קרון 1} \text{ לפני התנגשות}$$

? = **U** מהירות משותפת של הקרונות



ציוויל 92:

התנגשות פלסטית בין שני  
קרונות רכבת

לפניהם התנגשות: מסה  $m_1$  נעה במהירות  $v_1 = 5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$   
התנוע שלו הוא:  $v_1 = 5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  **4** ( $+10,000 / -10,000$ )

המסה השנייה הייתה במצב של **5** (תנועה במהירות קבועה/תנועה בתאוצה/מנוחה), כלומר מהירותה הייתה אפס. התנוע שלה אף הוא אפס.

לפיכך, התנוע הכולל לפני התנגשות הוא **5** ( $+10,000 / -10,000$ ).  
( $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}} \cdot \text{ניטון} \times \text{מ}^2 / \frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}}^2$ )

לאחר ההתנגשות נעו שני הקרונות  $m_1$  (בנפרד/יחדיו) במהירות  $U$ . מסת הקרונות יחדיו היא  $m_1 + m_2$  ( $m_1 + m_2$  -  $m_1$ ) לכן, התנוע הכלול לאחר ההיכמדות הוא:  $U = (m_1 + m_2) / (m_1 + m_2 - m_1) = 2.5$  מטר/שניה. לפי חוק שימור התנוע:

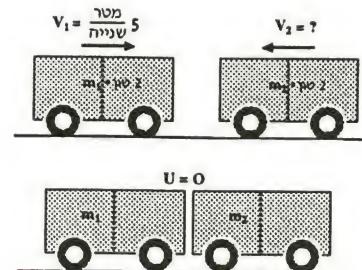
$$m_1 V_1 = (m_1 + m_2) U$$

$$2000 \cdot V_1 = (2000 + m_2) \cdot 2.5$$

$$V_1 = \frac{2.5}{2000 + m_2}$$

3. קרון ריק שמסתו  $m_1 = 2$  טון נע על פסי הרכבת במהירות

5 מטר/שניה  $= V_1$  בכיוון ימינה. קרון אחר עמוס שמסתו  $m_2 = 4$  טון נע ל夸רכתו (ציר 93). לאחר ההתנגשות נעצרו שני הקרונות. מה הייתה מהירות הקרון העמוס?



ציר 93:

שני קרונות רכבות נעים זה ל夸רכות זה, מתנגשים ועצרים

פתרונות:

נתונים:

$$V_1 = 5 \text{ מטר/שניה}$$

$$m_1 = 2 \text{ טון}$$

$$m_2 = 4 \text{ טון}$$

$$V_2 = ?$$

?

הקרונות  $m_1$  (המשיכו לנוע/נעכו) לאחר ההתנגשות. ככלומר, מהירותם המשותפת היא  $V = 0$  ( $5 + 0 = 5$  מטר/שניה). במצב הסופי התנוע של כל אחד מהקרונות הוא  $V_1 = 0$  ( $5 \cdot m_1 / (m_1 + m_2) = 0$ ), ולכן התנוע הכלול לאחר ההתנגשות הוא אפס.

$$m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2 = 0$$

$$2000 \cdot 5 + m_2 \cdot V_2 = 0$$

$$V_2 = \frac{2000 \cdot 5}{m_2}$$

מהירותו של הקרון העמוס היא  $V_2 = 2000 \cdot 5 / 4 = 2500 / 4 = 625$  מטר/שניה (חיובית/שלילית/אפס). ביחס לכיוון הקרון הריק. ככלומר, לפני ההתנגשות נע הקרון העמוס (באותו כיוון של הקרון/נגדיו לכיוון הקרון) הריק  $m_1$ . גודלה של מהירות  $V_2$  הוא  $625$  מטר/שניה (מחצית/שליש) ממהירות הקרון הריק.

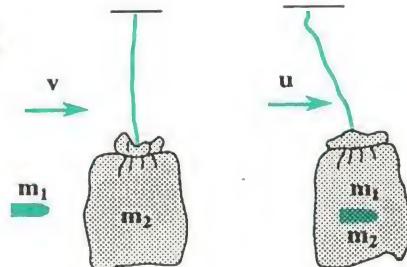
התרגיל שפתרנו מלמד שבהתנגשות פלסטית ייעצרו שתי מסות

לאחר ההתנגשות, אם לפני ההתנגשות יתקיימו התנאים דלקמן:  
א. שתי המסות **חייבות** לנوع אחד        (לקראת/בכיוון של  
השנייה).

לכן סימנו המתמטי של תנועה אחת המסות        (שווה/הופך)  
לוזה של תנועה המסה השנייה.

ב. גודל התנועים של המסות לפני ההתנגשות        (שווה/שונה).

5



ציור 94:

מציאת מהירות קליע בעזרת  
התנגשותו הפלסטית בשק  
תלויה

**מידות מהירות קליעים**  
אחד הדריכים למציאת מהירותם של קליעים היא לירות אותם  
لتוך שק בעל מסה גדולה הקשור בחבל ארוך לתקלה (ציור 94).  
הקליע נעה בשק ומסיט אותו. על פי מסות הקליע והשק והמהירות  
המשותפת שלהם, ניתן לחשב את מהירות הקליע.  
נחשב את מהירותו של קליע על פי התרגיל שלפנינו.

6

קליע שמסתו 10 גרם  $= m_1$  נגע בשק שמסתו 990 גרם  $= m_2$ .  
המהירות המשותפת של השק עם הקליע היא  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$ .  
מהי מהירות  $v$  של הקליע לפני פגיעתו בשק?

פתרונות:

נתונים:

$$ק"ג = 10 \text{ גרם} = m_1 \text{ מסת הקליע} \quad 4$$

$$= 990 \text{ גרם} = m_2 \text{ מסת השק} \quad 5$$

$$0 = v_2 \text{ מהירות השק לפני ההתנגשות}$$

$$2 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = u \text{ מהירות משותפת לקליע ולשק}$$

$$? = v_1 = v \text{ מהירות הקליע}$$

לפני ההתנגשות יש מהירות רק  $v_1$  (סק/קליע), לכן התנוע  
הכול במצב זה הוא  $\frac{m_1 v_1 + m_2 \cdot 0}{m_1 + m_2}$ .

לאחר ההתנגשות נע השק ביחיד עם הקליע. כולם המסה  $(m_1 + m_2)$   
נעה ב מהירות  $u$ .

$$\text{התנוע הכללי הוא } \frac{(m_1 + m_2)u + m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

הנוסחה המבטאת את חוק שימור התנע היא:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

$$0.010 \cdot V + 0 = ( \quad + \quad ) \quad \text{9}$$

$$V = \underline{\quad} \cdot 2 \quad \text{10}$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}} 200$$

כאשר מטפלים בחוק שימור התנע אין הכרח להפוך את יחידות המסה לק"ג. בשני צידי המשוואה מופיעה היחידה גרם והיא מצטמצמת, ולכן נוכל לכתוב:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

$$10 \cdot V + 0 = (10 + 990) \cdot U$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}} 200$$

**נסכם:**



א. התנגשות פלסטית היא התנגשות שנוצר בה חום.

ב. בהתקنشות פלסטית נועות המסהות המתנגשות ייחדיו לאחר ההתקنشות וקיימים:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

ג. מהירות קליעים נמדדת על-ידי התנגשות פלסטית של קליע בשק תלוי.

## ב. התנגשויות אלסטיות

לפני ההתנגשות

לפניך תיאור של שלוש התנגשויות שונות (ציר 95). מה לדעתך המשותף שלושה אירועים אלו?

1. כדור גמיש נעה על רצפה חלקה פוגע בקיר, משנה כיוון וחזור בכיוון הנגדי באותו מהירות שבה הוא פגע בקיר.
2. כדור מתגש בכדור השווה לו במסתו ונמצא במנוחה.
3. הכדור הפוגע נעצר והשני ממשיך באותו מהירות של הכדור הראשון.
4. שתי מסות שותות נעות זו לכיונת זו ב מהירות בעלת אותו גודל. הן מתנגשות וחוזרות ב מהירות שותת מנוגדות.

בכל המקרים הללו לא נוצרת אנרגיית חום. ההתנגשות שבאה לא נוצרת כל אנרגיית חום כתוצאה מה/english>impact בין הגוףים בשעת ההתנגשותם, מכונה בשם **התנגשויות אלסטיות לחליות**.

כמו בהתנגשויות פלסטיות, כך גם בהתנגשויות אלסטיות קיים חוק שימור <sup>2</sup> אנרגיה (זמן/הטענה/הטען החשמלי). כאשר שתי המסות ינעו לפני ההתנגשות ולאחריה על קו ישר יתקיים השוויון:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

<sup>3</sup>  $V_1 - V_2$  - מהירות המסות  $m_1$  ו-  $m_2$  (לפניהם/אחריהם) לפני ההתנגשות.

<sup>4</sup>  $U_1 - U_2$  - מהירות המסות  $m_1$  ו-  $m_2$  (לפניהם/אחריהם) לאחר ההתנגשות.

בהתנגשויות אלסטיות לחליות **בלבד** קיים שוויון נוסף שהוא:

$$V_1 - V_2 = U_2 - U_1$$

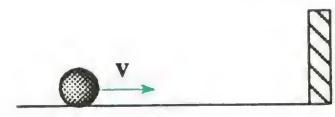
נסכם:

א. התנגשויות אלסטיות לחליות היא ההתנגשות שבה לא נוצרת כל אנרגיית חום.

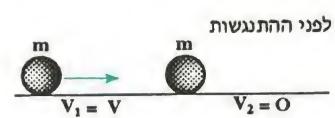
ב. נוסחאות הנהוגות בשימור תנע בהתנגשויות אלסטיות לחליות על קו ישר הן:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

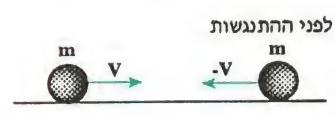
$$V_1 - V_2 = U_2 - U_1$$



דוגמה 1



דוגמה 2



דוגמה 3

ציר 95: שלוש דוגמאות של ההתנגשות אלסטית לחליות



9. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלה פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה ש. מכ' ג. 3 כדי להשוו את פתרונו עם הפתרון הנכון.



מסה בת 3 ק"ג הנעה ב מהירות  $\frac{2}{\text{שניה}}$  מטר בכיוון ימינה מתנגשת בהתנגשות אלסטית לחליות במסה אחרת הנמצאת במנוחה (ציוו 96). מסה אף היא 3 ק"ג. מהן מהירותי המסתות לאחר ההתנגשות?

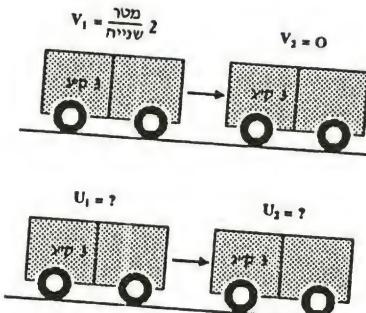
פתרון:  
נתונים:

$$3 \text{ ק"ג} = m_1 \text{ מסה הפוגעת}$$

$$\frac{2}{\text{שניה}} = v_1 \text{ מהירות המסה הפוגעת לפני ההתנגשות}$$

$$3 \text{ ק"ג} = m_2 \text{ מסה הנפגעת}$$

$$0 = v_2 \text{ מהירות המסה הנפגעת לפני ההתנגשות}$$



ציוו 96:

מסה בת 3 ק"ג נעה ב מהירות  $\frac{2}{\text{שניה}}$  מטר ומתנגשת בתנגשות אלסטית לחליות במסה שווה לה הנמצאת במנוחה

$U_1 = ?$  מהירות המסה הפוגעת לאחר ההתנגשות  
 $U_2 = ?$  מהירות המסה הנפגעת לאחר ההתנגשות  
 ההתנגשות היא 5 (פלסティית/אלסטית לחליות); לכן  
 המשוואות שיש להשתמש בהן הן:

$$m_1 v_1 + m_2 \underline{\quad} = m_1 U_1 + m_2 \underline{\quad} \quad 6$$

$$v_1 - \underline{\quad} = U_2 - \underline{\quad} \quad 7$$

נציב את הנתונים לתוך המשוואות:

$$3 \cdot \underline{\quad} + 0 = 3U_1 + \underline{\quad} U_2 \quad 8$$

$$2 = U_2 - \underline{\quad} \quad 9$$

נוצץ את המשוואה הראשונה ב-3.  
 המשוואות שנתקבלו הן:

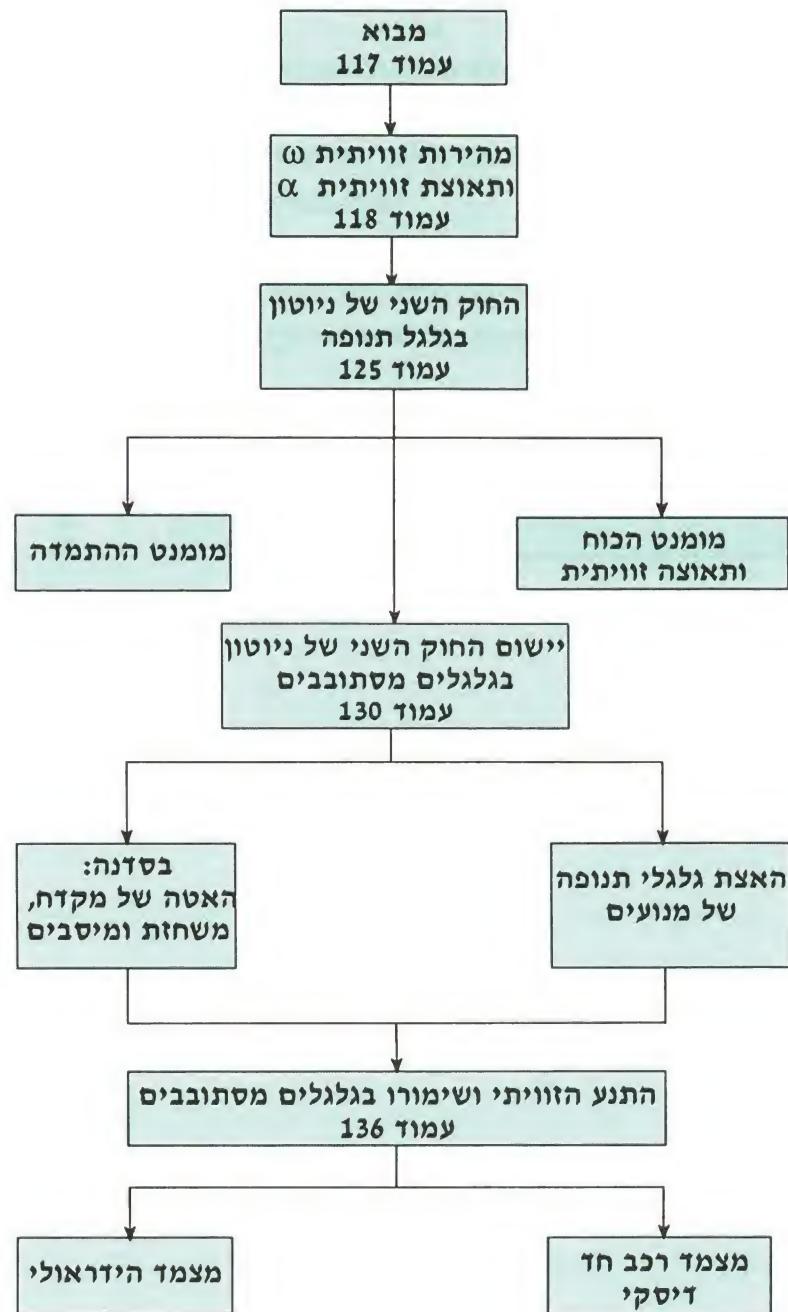
$$2 = U_1 + U_2$$

$$2 = -U_1 + U_2$$



## פרק 4: תנועת גלגלים מסתובבים

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום פרק זה אתה אמרו:

- .1. להכיר את המושגים: מומנט התמדדה (I), מומנט הכוח (M) ותאוצה זוויתית ( $\alpha$ ).
- .2. לדעת כי גם בגלגלים מסתובבים קיים החוק השני של ניוטון.
- .3. לדעת כי החוק השני של ניוטון בגלגלים מסתובבים הוא

$$M = \alpha I$$

- .4. לדעת לחשב את מומנט התמדדה של גלגלים או גלילים.
- .5. לדעת כיצד מופעלים מנועים בעזרת גלגלי תנופה.
- .6. להבין באופן פיזיקלי את פעלת ההאטה של המקדח והמשחזה בסדנה.
- .7. להכיר את המושג תנע זוויתי.
- .8. להכיר את חוק שימור התנע הזוויתי בהתנגשות פלسطית.
- .9. להבין באופן פיזיקלי את פעלת המצדד החד דיסקי.
- .10. להבין באופן פיזיקלי את פעלת המצדד ההידראולי.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנים הושגו.

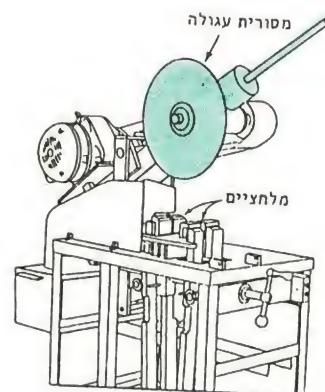


## 4. א. מבוא

מערכות פיזיקליות של גלגלים מסתובבים הן הנפוצות ביותר בעולם הטכנולוגי.

אנו, אנשי המקצוע, עוסקים במתכונים הבנויים מגלגלים כאלו בכל אחד מהשלבים של עובודתנו. בסדנה פועלם בעזרת גלגלים מסתובבים מתכונים רבים: מחרטה, משחזה, מקדחה, כרסומת, מסור עגול (ציפור 104) ועוד.

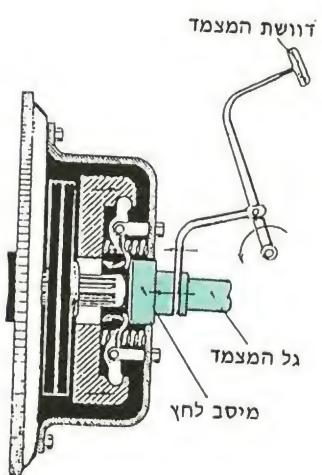
מהי הסיבה שגורמת למכשירים אלו להסתובב? מהו החוק הפיזיקלי שקובע את הקשר בין תדירות הסיבוב של הגלגלים לבין הכוח שגורם לשיבוב? מצד שני, ברצוננו לדעת מהו התהילה הפיזיקלי שגורם לגלגלים אלו לעצור או להקטין את מהירותם ההיקפית.



ציפור 104:  
תנועה סיבובית של מסור עגול

כמו כן מעוניין אוטנו לדעת מהו ההסבר הפיזיקלי להיצמדות שני גלגלי תנופה, כדוגמת המצמד במכונית (ציפור 105).

על כל אלה בפרק ש לפניו. לפני שנדון בהרחבה בנושאים אלו נביא פרק מכין המלמד כיצד להתייחס לתנועה הסיבובית של הגלגלים שבהם נטפל בהמשך.



ציפור 105:  
מצמד מכונית

## 4. ב. מהירות זוויתית ותאוצה זוויתית A

1. בפרק 2 למדנו כי כאשר גוף מקיים מעגל בעל רדיוס  $R$  בזמן מוחור  $T$ , מהירותו היקפית היא:

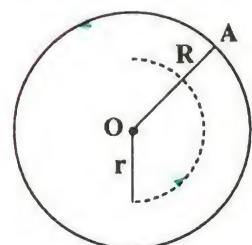
$$\left. \begin{array}{ll} \text{א)} & V_1 = \frac{2\pi R}{T} \text{ היק'} \\ \text{ב)} & V_1 = 2\pi R T \text{ היק'} \\ \text{ג)} & V_1 = \frac{2\pi R}{T} \text{ היק'} \\ \text{ד)} & V_1 = \frac{T}{2\pi R} \text{ היק'} \end{array} \right\} 1$$

סמן בעיגול את התשובה הנכונה.

כאשר גלגל מסתובב סביב ציר סיבוב 0 (ציפור 106) כל נקודה על היקף נעה **באותה** מהירות היקפית ( $V$  היק') כמו גוף שנע על פני מעגל בעל אותו רדיוס ( $R$ ) באותו זמן מוחור ( $T$ ).

2. כאשר הנקודה **numerator** נמצאת בשעת הסיבוב קרוב יותר למרכז המעגל, רדיוס הסיבוב **denominator** (קטן/גדול) יותר מרדיוס הגלגל  $R$  (ציפור 107).  
מצב זה המהירות היקפית  $V$  היק' **denominator** (קטנה/גדולה) יותר מהמהירות על היקף.

המהירות זו תהיה  $\frac{2\pi}{T} V_1$  היק'.  
המהירות היקפית הולכת וגדלה ככל ש **denominator** (מתרחקים מ/מתקרבים אל) מרכזו מעגל הסיבוב 0.  
במילים אחרות: המהירות היקפית נמצאת ביחס **denominator** (ישר/הפוך/ירוד) למרחק ממרכז המעגל.



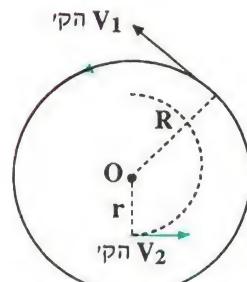
ציפור 106:  
A - נקודה על גלגל מסתובב סיבוב ציר העובר במאונך לגלגל בנקודה 0

$$\frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi}{T} V_1 \text{ היק'} : \quad .3$$

$$\frac{2\pi R}{r} = \frac{2\pi}{T} V_2 \text{ היק'} \quad .6$$

באופן כללי, היחס בין מהירות היקפית  $V$  היק' לבין רדיוס הסיבוב  $r$  המתאים למהירות היקפית זו, שווה ל-  $\frac{2\pi}{T}$ .

הגודל  $\frac{2\pi}{T}$  נקרא **מהירות זוויתית**. הוא נקרא בשם זה, כי באותו זמן כל נקודה לאורך רדיוס הגלגל מסתובב, מבצעת אותה זווית (ציפור 108). ( $\omega$  - היא האות היוונית אומגה).



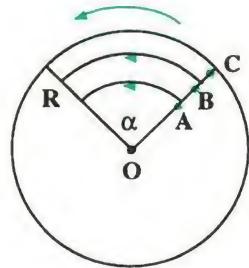
ציפור 107:  
לגביו גלגל מסתובב

$$\frac{2\pi}{r} V_1 \text{ היק'}$$

יחידות המהירות הזוויתית  $\omega$ :

ו הוא היחס שבין  $\frac{1}{T}$  (התאוצה/המהירות) היקפית  $\pi R$  ו  $\omega$  שיחידותיה  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$  מטר ובין  $\frac{1}{T}$  (הקוטר/המיטר/הרדיויס)  $\pi R$  שהיחידה שלו מטר. לכן ייחידת ה- $\omega$  תהיה:

$$\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}} = \frac{1}{\text{שניה}} \frac{\text{מטר}}{\text{מטר}}$$



צирור 108:

תנועה של גלגל מסתובב.

נקודה A תבצע באותו זמן

אותה זווית  $\alpha$  כמו נקודה B

לכל הנקודות לאורך הרדיויס

R אותן מהירות זוויתית

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

נסכם:

א. מהירות זוויתית  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  היא היחס שבין המהירות היקפית  $\pi R$  ו  $\omega$  הקיים המתאים לרדיוס הסיבוב  $r$ .

$$\omega = \frac{\pi R}{T}$$

ב. היחידה של  $\omega$  היא  $\frac{1}{\text{שניה}}$ .

ג. המהירות היקפית  $\pi R$  היא מהירות של נקודה על פני המעלג, כלומר אורך הקשת שהיא עשויה בשניהם.

ד. מהירות זוויתית היא הזווית שעשויה (מתטאט) רדיוס בשניהם.



4. מהי המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל המסתובב במשך זמן מחזור של

$$\frac{1}{2} \text{ שניות?}$$

$$\omega = \frac{\boxed{\phantom{00}}}{\boxed{\phantom{00}}} \quad 3$$

$$\omega = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\text{שניה}}$$

.5 את הביטוי  $\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$  אפשר לרשום גם בצורה  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .  
למදנו כי  $f = \frac{1}{T}$  (תדירות שווה לערך הפוך של זמן המחזור).

לכן אפשר לרשום:

$$1) \quad \omega = \frac{2\pi}{f} \quad 2) \quad \omega = \frac{f}{2\pi} \quad 3) \quad \omega = 2\pi f \quad 4) \quad \omega = \frac{1}{2\pi f} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} (1)$$

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

.6 מהי המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל המסתובב בתדירות של 3000 סלייד?

סלייד?

נזכור כי:  $f = 60 = \frac{n}{60}$  (מספר הסיבובים בסלייד שווה ששים פעמיות בתדירות ב-  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניה}}$ ).

$$f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{\boxed{\quad}} \quad \text{הרץ} = \boxed{\quad} \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = \boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{1}{\text{שניה}} 314$$

לכל נקודה על הגלגל המסתובב בתדירות קבועה של 3000 סלייד יש

$$\text{מהירות זוויתית של } 314 \frac{1}{\text{שניה}} = \omega.$$

.7 מהי המהירות היקפית של נקודה על הגלגל הנ"ל אם היא נמצאת במרחק 40 ס"מ ממרכז הגלגל (צירור 109)?

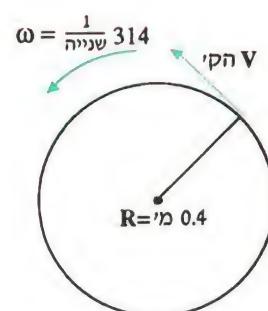
פתרונות:

נתונים:

$$\omega = \frac{1}{\text{שניה}} 314 \quad \text{מהירות זוויתית}$$

$$\boxed{\quad} \text{ מטר} = 40 \text{ ס"מ} = R \quad \text{רדיוס הסיבוב}$$

$$? = \text{ מהירות היקפית} = \text{ מהירות זוויתית} \cdot R$$



צירור 109:

המהירות היקפית של נקודה הנמצאת על היקף גלגל בעל רדיוס 0.4 מ'  $\omega = \frac{1}{\text{שניה}} 314$  מהירות הזוויתית

$$\omega = \frac{V_{הק'}}{R}$$

$$\text{לכן: } \omega = \frac{V_{הק'}}{R}$$

$$\text{כלומר: } \boxed{\quad} = \frac{V_{הק'}}{R} \quad 1$$

$$\text{מטר} = \frac{V_{הק'}}{\text{שניהם}} \quad 2$$

$$\boxed{\omega = \frac{V_{הק'}}{R}} \quad \text{נסכם:}$$



### 8. תאוצה זוויתית

כאשר גלגל מסתובב יותר ויתר מהר המשמעות היא שהמהירות הזוויתית שלו הולכת <sup>3</sup> (ונגדלה/וקטנה).

כאשר תדירות הסיבוב היא  $f_1$  הרי המהירות הזוויתית  $\omega_1$ , ככלומר <sup>4</sup> (הזווית/המשיק/הmittar) שעשויה (מטאטא) הרדיוס

במשך שנייה אחת, היא  $\omega_1 = 2\pi f_1$ .  
אם במשך זמן  $\Delta t$  התדריות גדלה  $f_2$ , קיבל מהירות זוויתית <sup>5</sup> (ונגדלה/קטנה) יותר, שהיא:  $\omega_2 = 2\pi f_2$ .

אנו אומרים שפרק הזמן  $\Delta t$  הייתה התאוצה הזוויתית הממוצעת <sup>6</sup>.  
א. התאוצה הזוויתית תוגדר כמו תאוצה קווית, ככלומר:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

$$\boxed{f_1 = \frac{\text{ט.ק.}}{\text{שניהם}}} \quad 6$$

$$\boxed{f_2 = \frac{\text{ט.ק.}}{\text{שניהם}}} \quad 18$$

$$\boxed{\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}}$$

$$\boxed{\omega = 2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$(a = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} - \text{בדומה ל-})$$

לדוגמא: תדריות סיבוב של גלגל היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניהם}} = 6 f_1$ .

במשך זמן  $\Delta t$  של 3 שניות התדריות גדלה  $f_2 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שניהם}} = 18$ , מהי התאוצה הזוויתית הממוצעת  $\alpha$  של הגלגל?

פתרונות:

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 = 2 \cdot 3.14 \cdot \underline{\quad}^1$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot f_2 = 2 \cdot \underline{\quad} \cdot \underline{\quad}^2$$

$$\text{תאוצה זוויתית } \alpha = \frac{\omega_2 - \underline{\quad}}{\Delta t}^3$$

$$\alpha = \frac{\underline{\quad} - \underline{\quad}}{\underline{\quad}}^4$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{\text{שניהם}}}{\frac{25.12}{\text{שניהם}}}$$

מכאן מתקבל שהיחידה של התאוצה הזוויתית  $\alpha$  היא  $\frac{1}{\text{שניהם}^2}$

נכפס:



א. תאוצה זוויתית ממוצעת  $\alpha$  היא שינוי מהירות הזוויתית  
במשך שנייה ו-  $\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$

ב. ייחידת התאוצה הזוויתית  $\alpha$  היא  $\frac{1}{\text{שניהם}^2}$

לכל נקודה הנמצאת לאורך רדיוס גלגל המסתובב בתאוצה זוויתית יש תאוצה היקפית. כלומר מהירות היקפית של הנקודה קטנה גדלה (צירור 110).

נרשום את הנוסחה של  $\alpha$  ונכפיל אותה בשני אגפים ב- $\cdot R$ .

$$\alpha \cdot R = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} \cdot R$$

$$\alpha \cdot R = \frac{\omega_2 R - \omega_1 R}{\Delta t} \quad \text{נקבל:}$$

בסעיף הקודם ראינו  $\omega - \omega_1 = \omega$  לכן נקבל:

$$\alpha \cdot R = \frac{\omega_2 R - \omega_1 R}{\Delta t}$$

באגן ימין רשותה תאוצתה של נקודה על היקף המעלג במרחק  $R$  מרכזו. לכן נקבל:

$$a = \alpha R$$

שים לב כי התאוצה  $a$  היא תאוצה **בכיוון** מסלול המעלג (ולא אל המרכז). זויה **תאוצה היקפית**  $a$  היקי.

כלומר זאת תאוצה הגורמת להגברת גודל המהירות של הנקודה הנמצאת על היקף המעלג.

לזכיכם, בפרק 2.ג ראיינו שישנה תאוצה נוספת נספת הפעלת על גוף הנע בתנועה מעגלית קצובה, הנגרמת כתוצאה משינוי כיוון המהירות והנקראת **תאוצה רדיאלית** (בכיוון מרכז המעלג) ושויה  $a_R = \frac{V^2}{R}$  היקי.

10. מהי התאוצה היקפית של נקודה הנמצאת במרחק של 10 ס"מ

מהמרכז אם התאוצה הזוויתית שלה  $25.12 \frac{1}{\text{שנייה}^2}$ ?

פתרון:

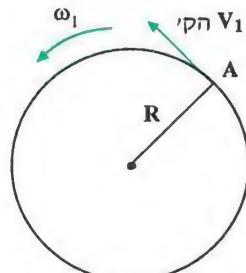
$$a = \alpha R$$

$$a = 25.12 \times 0.1 = 2.512 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$$

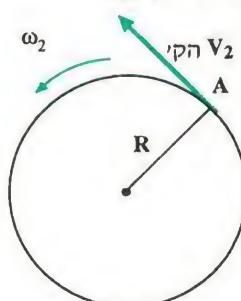
נסכם:

- א. התאוצה היקפית  $a$  היקי של נקודה הנמצאת במרחק  $R$  ממרכז סיבוב שווה ל-  $R \alpha$  היקי.
- ב. התאוצה היקפית גורמת לנקודה על היקף המעלג לנوع מהירות היקפית גדולה יותר.

בתחילת



לאחר זמן  $\Delta t$



ציור 110:

נקודה על המסלול מהירות היקפית  $R \omega$  היקי,  $\omega_1 = V_1$   
לאחר זמן  $\Delta t$  מהירות היקפית גדלה  $\omega_2 = V_2$  היקי,  
ל-  $R - R = \Delta t$  היקפית גדלה  
נקודה A יש תאוצה  
היקפית  $a$  היקי.

11. גלגל מסתובב בתדרות של 1500 סל"ד. התדרות גדלה בז' 10  
שניות ל-3000 סל"ד. מהי התאוצה הזוויתית  $\alpha$ ?

פתרונות:

נתונים:

$$\text{הרצ} \quad \text{סל"ד} = f_1 \quad \text{תדרות התחלתית} \quad 1$$

$$\text{הרצ} \quad \text{סל"ד} = f_2 \quad \text{תדרות סופית} \quad 2$$

$$\text{שניות} = \Delta t \quad \text{זמן שינוי התדרות} \quad 3$$

$$\alpha = ? \quad \text{תאוצה זוויתית}$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} \quad 4$$

$$\alpha = \frac{2\pi f_2 - 2\pi f_1}{\Delta t} \quad 5$$

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot \Delta f}{\Delta t} \quad 6$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi \Delta t} \cdot 15.7 \quad \text{שניות}^2$$

מהי התאוצה ההיקפית של נקודה הנמצאת על קצה גלגל שרדיויסו  
20 ס"מ?

פתרונות:

נתונים:

$$\alpha = \frac{1}{2\pi \Delta t} \cdot 15.7 \quad \text{תאוצה זוויתית}$$

$$\text{מטר} = 20 \text{ ס"מ} = R \quad \text{רדיוס הגלגל} \quad 7$$

$$a = ? \quad \text{הקי} \quad \text{תאוצה היקפית}$$

$$a = \alpha R$$

$$a = ? \quad \text{הקי} \quad 8$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{2\pi \Delta t} \cdot 3.14 \quad \text{הקי}$$

#### 4. ג. החוק השני של ניוטון בגלגל תנופה

1. נתון גלגל בעל ציר סיבוב העובר במרכזו הנמצא במנוחה. ננסה לסובב אותו (צирו 111, ניסוי מכ' 46).

א. נפעיל כוח בעורף האצבע דרך מרכז הגלגל. האם הגלגל יסתובב? 1 (כן/לא).

ב. נפעיל אותו כוח על נקודה המרוחקת מהמרכז (למשל על היקף) במאונך לגלגל. האם הגלגל יסתובב? 2 (כן/לא)?

ג. נפעיל עתה את הכוח במאונך לרדיס הגלגל. האם הגלגל יסתובב? 3 (כן/לא).

4. כיוון הכוח במקרה ג' הוא        (מקביל/מאונך/אלכסוני) לרדיס הגלגל. קו זה הוא המשיק לגלגל.

מסקנה הניסוי היא: כדי שכוח יגרום לסיבוב עליו לפעול בכיוון המשיק לגלגל.

2. על הגלגל שעליו דיברנו בסעיף הקודם הקיים פועל כוח של 20 ניוטון. כוח זה פועל בכיוון המשיק לגלגל, ככלומר פועל בכיוון 6 (מקביל/מאונך/אלכסוני) לרדיס.

6. ציר הסיבוב של הגלגל עבר דרך 6 (מרכז/היקפו). רדיוס הגלגל הוא 0.1 מטר. הרדיוס נקרא בשם זרוע הכוח.

זרוע הכוח הוא המרחק האנכי מציר הסיבוב 0 לכיוון הכוח. כאשר כוח גורם לסיבוב הוא יוצר מומנט כוח.

3. מומנט כוח  $M$  - שווה למכפלת הכוח  $F$  בזרוע  $R$ .

$$M = F \cdot R$$

חשב את מומנט הכוח בדוגמה שלנו?

$$M = 20 \cdot \underline{7}$$

$$2 \text{ ניוטון} \cdot \text{מטר} = M$$

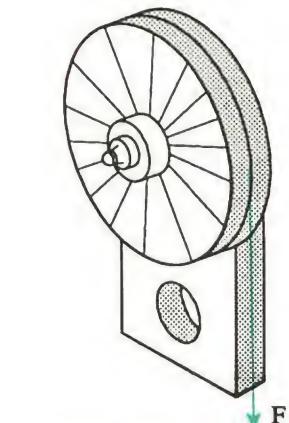
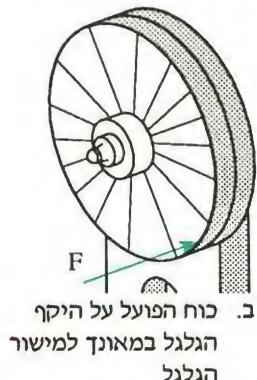
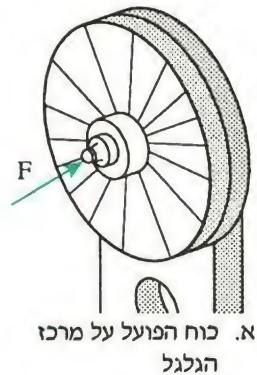
נכט:

א. כוח  $F$  הפועל בכיוון המשיק לגלגל יוצר מומנט  $M$ .  
 $M = F \cdot R$  (רדיוס הגלגל).

ב. ייחידת המומנט  $M$  היא ניוטון · מטר.



מכ' 46



ג. כוח  $F$  הפעול במשור ובמאונך  
לרדיס בקצתו. הכוח  
משיק לגלגל הכוח  $F$   
גורם למומנט כוח  $M$ ,  
 $M = F \cdot R$

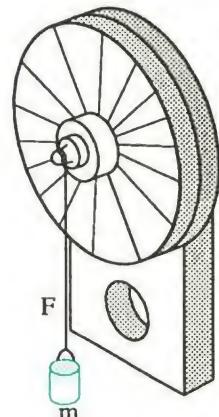
צирו 111

4. ניקח גלגל ונתלה אותו על ציר סיבוב. נלפף חוט על ידית הגלגל ונתלה בקצתו מסה (ציפור 112). נשחרר את המסה, ניסוי 47. על המסה פועל כוח       (החיכוך/הכבוד) והוא מושכת אותה את החבל המסובב את הגלגל. הכוח שפועל על ידית הגלגל יוצר מומנט       (F/M).



מכי 47

הגלגל היה בתחילת       במצב של       (תנועה סיבובית מנוחה) והוא עבר       (מיד/בזרזגה) למהירות       (היקפית/זוויתית) סופית      . מהירות הזוויתית התחלה הייתה       ( $\omega_0/0/\omega$ ) ולכן נוצר       שינוי ב מהירות הזוויתית. מסקנה - מומנט הכוח M גורם ל       (מהירות/תאוצה) זוויתית      .



ציפור 112:

החבל מפעיל כוח F והוא מומנט כוח F-R על הגלגל. המומנט גורם לו תאוצה זוויתית      .

מומנט הכוח M יוצר תאוצה זוויתית      .



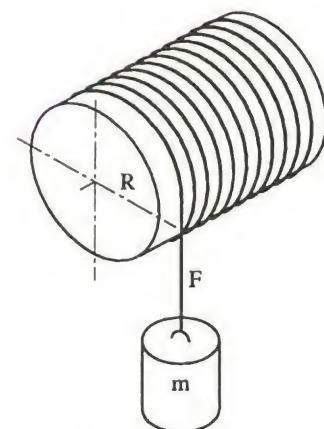
5. בפרק הראשון של חוברת זאת רأינו שכאשר גוף נע בקו ישר קייםיחס ישיר בין הכוח השקול הפועל עליו F ל       (מהירות/תאוצה)      , כך ש:

$$\frac{F}{a} = m$$

                        (המסה/המשקל/הנפח/שטח הפנים) של הגוף.

באופן השוואתי מצאו כי קיים גםיחס ישיר בין מומנט הכוח M ובין התאוצה זוויתית       ( $\alpha/\beta/\gamma$ ).

$$\frac{M}{\alpha} = I$$



הגורם I נקרא בשם מומנט ההתמדה של הגוף המסתובב.

מומנט ההתמדה I הוא היחס בין מומנט הכוח M שפועל על הגוף המסתובב סיבוב ציר סיבוב, לבין תאוצתו זוויתית      .



6. המסה ומומנט ההתמדה מתארים את מידת ההתמדה של גוף, כלומר, את נטייתו של הגוף להישאר באותו מצב.

מסה במנוחה מתארת את ההתמדה של גוף להישאר במצב מנוחה ולא לעבור במצב של תנועה בכו ישר.

מומנט ההתמדה מתאר את נטיית ההתמדה של גוף בעל ציר סיבוב להישאר במצב מנוחה ולא לעבור לתנועה <sup>1</sup> (בכו ישר/סיבובית). אם גוף נמצא במצב של תנועה ב מהירות קבועה, המסה שואפת להישאר באותו מצב זה. ככל שהמסה גדולה יותר, כך נדרש כוח <sup>2</sup> (גדול/קטן) יותר לעיצירתה באותו מרווח זמן.

בגלגלים מסתובבים, שואף הגלגל להישאר ב מהירות קבועה. ככל שמומנט ההתמדה של הגלגל גדול יותר כך מומנט הכוח הדרוש לעיצירתו באותו מרווח זמן <sup>3</sup> (גדול/קטן) יותר.

הכרן את חלקו התחתון של שקי מס' 30 מסדרת השקפים של המכון לאמצעי הוראה מא"ה, פרק ב' מכניות. לפניך שני גלגלים תנופה. את האחד "קל לעצור" ואת השני "קשה לעצור". מדוע?

7

על הגלגל השמאלי, שהוא בעל מומנט ההתמדה גדול יותר, יש להפעיל מומנט כוח <sup>5</sup> (גדול/קטן) יותר.

7. את יחידת מומנט ההתמדה I נוכל למצוא בעזרת הנוסחה שקיבלנו

$$\text{עתה: } I = \frac{M}{\alpha}.$$

מהנוסחה נובע כי היחידה של I היא <sup>6</sup> (היחס שבין/המכפלה של) יחידת מומנט הכוח M והתאוצה הזוויותית  $\alpha$ .

$$\text{או: } [I] = \frac{[M]}{[\alpha]}$$

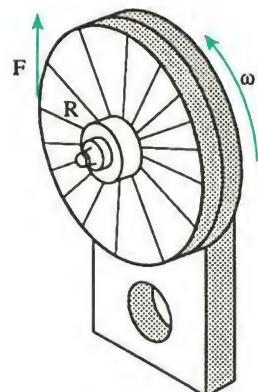
היחידה של מומנט הכוח M היא ניוטון · מטר.

יחידת התאוצה הזוויותית  $\alpha$  היא <sup>1</sup>  $\frac{1}{\text{שניה}^2}$ .  
לכן יחידת מומנט ההתמדה I היא (קריאה משמאל לימין):

$$\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}^2 = \text{ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\frac{1}{\text{שניה}^2}} = \text{ק"ג} \cdot \frac{\text{שניה}^2}{\text{שניה}^2} \cdot \text{מטר}$$

$$\text{שיהרי: } 1 \text{ ניוטון} = 1 \text{ ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}^2}$$

יחידת מומנט ההתמדה I היא:  $\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}^2$ .



ציור 3.113:

שינויים במצב התמדתי של תנועה.

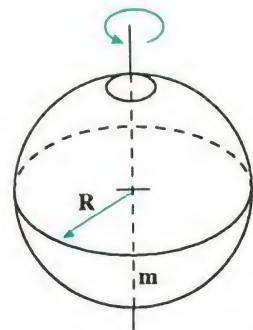
כוח F משנה את מהירותו של גוף.

$$M = F \cdot R$$

משנה את מהירותו הסיבובית ω



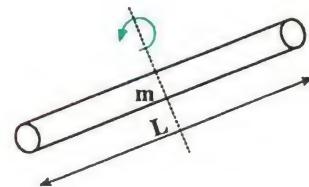
8. מסה  $m$  מטארת את ההתמדה של גוף לנוע ב מהירות (משתנה/קבועה) בקו  $2$  (עוקום/מעגלי/ישר).  
מומנט ההתמדה  $I$  מטאר את ההתמדה של גוף להסתובב ב מהירות  $3$  (זוויתית/בקו ישר) קבועה.  
מה ערכו של מומנט ההתמדה של דיסקה? האם לבנייה הגיאומטרי של גוף מסתובב יש השפעה על מומנט ההתמדה שלו? האם מקומו של ציר הסיבוב משפיע על מומנט ההתמדה?



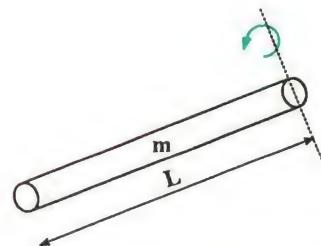
ציור 114:

מומנט ההתמדה  $I$  של כדור מלא המסתובב סביב ציר קוטר הוא  $I = \frac{2}{5} mR^2$   
 $m$  - מסת הכדור  
 $R$  - רדיוס ה-הזור

9. ייחידת מומנט ההתמדה  $I$  היא:  $4$   $(\text{ק''ג} \cdot \text{מטר}^2) / \text{ק''ג} \cdot \text{מטר}^2$ . ייחידת הקיג'ג מורה כי מומנט ההתמדה  $I$  של גופים תלוי ב  $5$  (מסתם/נפחם/שטח פניהם).  
ייחידת המטר $^2$  מורה כי מומנט ההתמדה  $6$   $(m / \alpha \cdot I / m)$  תלוי בריבוע האורך המאפיין את הגוף המסתובב. חישובים מראים שמומנט ההתמדה  $I$  של כדור מלא המסתובב סביב ציר סיבוב העובר דרך הקוטר הוא  $7$   $\frac{2}{5} mR^2$  (ציור 114).  
 $m$  הוא  $7$  (נפח/משקל סגוליל/مسה) של הכדור ו-  $R$  רדיוסו.  
מומנט ההתמדה של מוט דקיק שאורכו  $L$  כאשר הוא מסתובב סביב ציר העובר במרכז המוט ובמאונך לו שווה  $8$   $\frac{1}{12} mL^2$  (ציור 115 א').  
האורך המאפיין את המוט הוא  $8$  (עוביו/היקפו/אורך) ת. כאשר ציר הסיבוב עובר דרך נקודה אחרת לאורך המוט (לדוגמא: בקצתו) - מומנט ההתמדה מקבל ערך אחר (ציור 115 ב'), במקרה זה מכאן, שגודל מומנט ההתמדה  $I$  תלוי במקומו של ציר הסיבוב.



ציור 115 א':  
מומנט ההתמדה  $I$  של מוט סיבוב ציר סיבוב העובר דרך מרכזו ובמאונך לו,  $9$   $I = \frac{1}{12} mL^2$   
 $L$  - אורך המוט



ציור 115 ב':  
מומנט ההתמדה  $I$  של מוט סיבוב העובר בקצתו של המוט במאונך לו,  $10$   $I = \frac{1}{3} mL^2$

נסכם:

א. גודלו של מומנט ההתמדה של גוף תלוי במקומו של ציר הסיבוב.  
ב. מומנט ההתמדה של גוף תלוי במסתו  $m$  ובאורך המאפיין אותו.



10. בגלגלים מסתובבים ציר הסיבוב עובר דרך \_\_\_\_\_ (מרכז/היקף) הגלגל. גלגל בעל רדיוס  $R$  ומסה  $m$  יש מומנט ההתמדה  $I$  שוגדלו:

2  $\frac{1}{2} mR^2 = I$  (ציפור 116).

האורך המאפיין את מומנט ההתמדה של דיסקה הוא (היקפה/קוטרה/רדיוסה)  $R$ .

נמצא את מומנט ההתמדה של משחץ שרדיוסו 20 ס"מ ומסתו 2 ק"ג.

פתרונות:

נתונים:

$$2 \text{ ק"ג} = m \text{ מסת הגלגל}$$

$$20 \text{ ס"מ} = R \text{ רדיוס הגלגל}$$

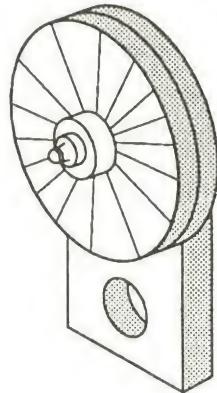
$$I = ?$$

$$I = \frac{1}{2} \text{ } \underline{\underline{R^2}}$$

$$I = \underline{\underline{\underline{\underline{\underline{}}}}} \cdot 2 \cdot \underline{\underline{\underline{\underline{\underline{}}}}} \quad 5$$

$$I = 2 \text{ ק"ג} \cdot 20 \text{ ס"מ}^2 = 0.04$$

$$\frac{1}{2} mR^2$$



ציפור 116:

מומנט ההתמדה  $I$  של גלגל המסתובב סביב ציר העובר במרכזו ובਮאונך לו שווה

$$\frac{1}{2} mR^2$$

נכונות:

א. מומנט ההתמדה  $I$  של כדור מלא המסתובב סביב קוטרו שווה ל-

$$I = \frac{2}{5} mR^2$$

$m$  - מסת הכדור;  $R$  - רדיוסו.

ב. מומנט ההתמדה  $I$  של מוט סיבוב ציר סיבוב העובר דרך מרכזו ובסאונך לו שווה ל-

$$I = \frac{1}{12} mL^2$$

$m$  - מסת המוט;  $L$  - אורכו.

ג. מומנט ההתמדה  $I$  של גלגל המסתובב סביב ציר סיבוב העובר במרכזו ובסאונך לו שווה ל-

$$I = \frac{1}{2} mR^2$$

$m$  - מסת הגלגל;  $R$  - רדיוסו.

ד. ייחידת מומנט ההתמדה היא  $\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}^2$ .

ה. מומנט הכוח  $M$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה  $I$  בתאוצה הזרויתית  $\alpha$ .

$$M = \alpha I$$

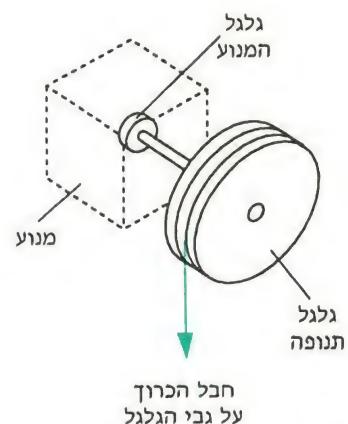


## 4.2 יישום החוק השני של ניוטון בגלגלים מסתובבים

### האצת גלגלי תנופה

גלגל תנופה הם גלגלי הצמודים למנווע של מכשירים בעזרת ציר סיבוב מסוית. מנוועים מסווגים שונים, כמו זה המוצי במכסחת דשא וכן בగנרטור לשימוש ביתי, יש להפעיל על ידי משיכה בחבל של גלגל התנופה.

סיבובו של גלגל התנופה נוצר על ידי כוח חיצוני שנגרם כתוצאה ממשיכת החבל הכרוך על גבי הגלגל (ציר 117). המהירות הזוויתית  $\alpha$  של גלגל התנופה ומומנט ההתמדה שלו  $I$  גורמים להנעת המנווע שמחובר כאמור בציר מסוית לגלגל המנווע.



ציר 117:  
גלגל תנופה מחובר באמצעות  
ציר מסוית למנווע

מסתו של גלגל התנופה של גנרטור היא 20 ק"ג ורדיוסו 0.3 מ'. החבל הכרוך על גבי הגלגל גורם תוך 5 שניות לסיבובו בתדירות של 300 סל"ד (ציר 118).

מה הכוח שהופעל על החבל הכרוך על גבי גלגל התנופה?

פתרון:

לפי החוק השני של ניוטון לגבי גופים מסווגים מסווגים, מומנט הכוח  $R \cdot M = F \cdot R$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה בתאוצה הזוויתית של הגוף המסתובב

$$M = I \cdot \alpha$$

$$F \cdot R = I \cdot \alpha$$

או:

כדי לחשב את  $F$  علينا לחשב את מומנט ההתמדה  $I$  של הדיסקה ואת התאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

נחשב תחילה את  $I$ :

נתונים:

$$m = 20 \text{ ק"ג}$$

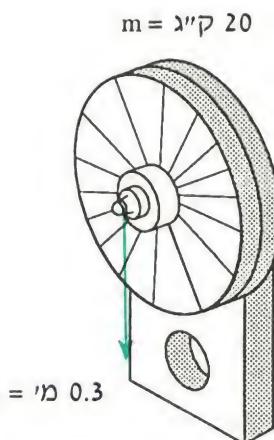
$$R = 0.5 \text{ מ"}$$

$$I = ? \text{ מומנט ההתמדה}$$

$$\textcircled{1} \quad I = \frac{1}{2} \text{ _____ } R^2$$

$$\textcircled{2} \quad I = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot \text{_____}^2$$

$$I = 2.5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$$



ציר 118:  
גלגל תנופה בעל מסה של  
20 ק"ג ורדיוס 0.3 מטר מגיע  
תוך 5 שניות לסיבוב בתדירות  
300 סל"ד

נחשב את התאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

א. מהירות הזוויתית ההתחלתית  $\omega_0$  הייתה 0.  
 ב. מהירות הזוויתית הסופית היא  $2\pi f = \omega$ .

נתונים:

$$\omega_0 = 0 \quad \text{מהירות זוויתית ראשונית}$$

$$\frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}} = f \quad \text{תדירות סופית} \quad ①$$

$$\frac{\text{שניות}}{\text{זמן סיבוב הגלגל}} = \Delta t \quad 2$$

תאוצה זוויתית  $\alpha = ?$

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{2\pi f - \omega_0}{\Delta t} \quad ③$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\Delta t} \quad 4$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi f} \cdot 6.25 \quad \text{שניות}$$

נציב את התוצאות בנוסחה ההתחלתית  $\alpha \cdot R = I \cdot F$ .

נתונים:

$$I = 2.5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 \quad \text{מומנט ההתמדה}$$

$$\alpha = \frac{\text{רדיאן}}{\text{שניות}^2} \quad \text{תאוצה זוויתית}$$

$$R = 0.5 \text{ מטר} \quad \text{רדיויס הגלגל}$$

כוח המאונך לרדיויס הגלגל  $F = ?$

$$F = \frac{I\alpha}{R}$$

$$F = \frac{I\alpha}{R} \quad 5$$

$$F = 31.4 \text{ ניוטון}$$

כדי למנוע זיהום אויר, נעים האוטובוסים הפנימיים באטריות נופש בעזרת אנרגיה הנnergת בגלגל תנועה (צירור 119).

גלאל התנועה, שהוא בעל מומנט התמדה גדול, מסתובב במהירות זוויתית גבוהה ופעיל עקב לכך את מנוע האוטובוס.

גלגל התנועה יש מנוע חשמלי המתחבר בתחנה למקור זרם חשמלי. המנוע מסובב את גלאל התנועה הגדול הצמוד לאוטובוס וכך מושג האוטובוס את שיא מהירותו הזוויתית.

נתון כי גלאל התנועה של האוטובוס המתוואר לעיל הוא בקוטר 1.8 מטר, ומסתו היא 1 טון, ותדירות המירביה היא 3000 סיבובים בדקה. מהו הכוח שפעיל המנוע החשמלי על הרצועה המושכת את גלאל התנועה אם האוטובוס שווה בתחנה דקה אחת, בהנחה שהמהירות הזוויתית ההתחלתית של גלאל התנועה היא אפס?

פתרון:

תרגיל זה דומה לתרגיל שפתרנו בסעיף 2.  
נפתר אותו על כן באותה שיטה.

נתונים:

$$m = \text{מסת גלאל התנועה} \quad 1$$

$$R = \text{רדיוס גלאל התנועה} \quad 2$$

$$\omega_0 = 0 \text{ מהירות זוויתית ראשונית}$$

$$\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = \frac{3000}{1} \text{ סיבובים} = \frac{\text{תדירות סופית}}{\text{דקה}} \quad 3$$

$$\text{שניות} = \Delta t \text{ זמן פעולה המנוע} \quad 4$$

$$F = ? \text{ כוח המנוע החשמלי}$$

4

התשובה הסופית היא:  $\pi \cdot 750 = 2355$  ניוטון או 2355 ניוטון.

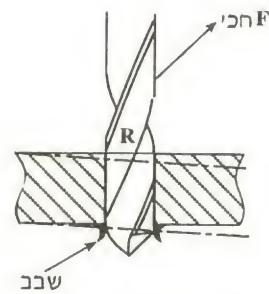


צירור 119:  
אוטובוס המועל בעזרת גלאל  
תנועה

4. **בсадנה: האטה של מהירות זוויתית של מקדח ומשחזה.**  
 כשם שMOVEDNT כוח גורם להאטה זוויתית של גלגל תנופה, כך הוא יכול גם לגרום להאטה מהירותו הזוויתית. ההאטה נגרמת על ידי הפעלת כוח בכיוון מנוגד לכיוון סיבוב הגלגל (ציור 120). דוגמה לכך היא האטה מהירות זוויתית של מקדח. כאשר מפסיקים את פעולה המנוע, המהירות הזוויתית של הלהב הולכת וקטנה/ונדרה). הכוח הגורם להאטה הלהב נובע מפעלת הגומلين (וקטנה/ונדרה).

2. **הכוח הגורם להאטה הוא כוח החיכוך  $F_{חכ}$  הפעיל (לאורך הרדיוס של ה-/בכיוון המשיק ל) להב. מומנט הכוח  $M$  הוא**

3. **(המכפלה/החילוק) של כוח החיכוך  $F_{חכ}$  ברדיווס גליל הלהב  $R$   $\frac{F_{חכ}}{R}$  ( $F_{חכ}/R$ ).**  
 מומנט זה לפי החוק השני של ניוטון שווה ל 5.  $\frac{\alpha}{I}$  ( $\frac{\alpha}{I}$ ),  
 כלומר למכפלת מומנט ההתמדה של הלהב I בתאוצה הזוויתית  $\alpha$ .  
 התאוצה הזוויתית  $\alpha$ , סימנה שלילי והוא 6.  $\alpha$  (מגדילה/  
 מקטינה) את המהירות הזוויתית ועד עצירת סיבובו של הלהב המקדח.

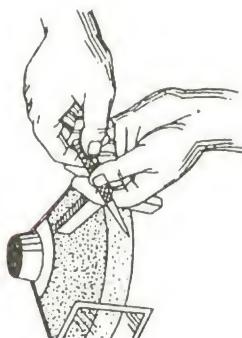


ציור 120:

כוח החיכוך  $F_{חכ}$  בין הגוש הקדוח ובין הלהב יוצר מומנט כוח  $R \cdot F_{חכ}$  המקטין את המהירות הזוויתית של הלהב

5. **גם באבן משחזה מתקיימת פעולה האטה של גלגל האבן. הכוח  $F$  שנוצר בגלגל לחץ הסכין על האבן המשחזה (ציור 121) פועל בכיוון מרכז גלגל האבן המשחזה. הוא יוצר כוח חיכוך  $F_{חכ}$  הפעיל 7. (במקביל/במאונך) לרדיויס הגלגל  $R$ .**

8. **מומנט הכוח המאט את המהירות ה- 8. (קוויית/זוויתית) נוצר בגלגל כוח החיכוך  $F_{חכ}$ .  
 מומנט הכוח  $R \cdot F_{חכ}$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה I של הדיסקה בתאוצה 9.  $\alpha$  (קוויית/זוויתית)  $\alpha$ .**  
 התאוצה 10.  $\alpha$  (קוויית/זוויתית) 11.  $\alpha$  (החיובית/  
 השלילית)  $\alpha$  12.  $\alpha$  (מקטינה/מגדילה) את המהירות הזוויתית של המשחזה.



ציור 121:

האטה של המהירות הזוויתית של אבן משחזה כתוצאה של אבן משחזה מומנט הכוח  $R \cdot F_{חכ}$  מפעלת

6. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלה פנה למורה לקבלת ש夸 בקרה ש. מכ. ג. 4 כדי להשוו את פתרונו עם הפתרון הנכון.

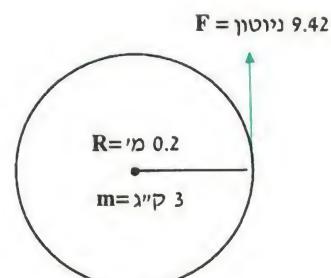


ابן משוחזת שمسתה 3 ק"ג ורדיוושה 20 ס"מ נעצרת במשך 5 שניות כאשר מופעל עליה כוח חיכוך של 9.42 ניוטון (צירור 122). מהי התדריות בסל"ד של אבן המשוחזת לפני הפעלת הכוח?

פתרונות:  
נתונים:  
1.  $ק"ג = m$  מסת גלגל אבן המשוחזת  
2.  $מטר = s$  ס"מ = R רדיוס הגלגל  
3.  $\Delta t = \Delta z$  זמן עצירת הגלגל  
4.  $= F \cdot \alpha$  כח חיכוך

---

? = ? (סל"ד) תדריות



צירור 122:  
אבן משוחזת נעצרת במשך 5  
שניות על ידי כוח חיכוך של  
9.42 ניוטון

נחשב תחילה את מומנט ההתמדה של הגלגל:

$$I = \boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad} \cdot R^2 \quad 5$$

$$I = \boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad} \cdot (0.2)^2 \quad 6$$

$$I = \boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad} \quad 7$$



לפי החוק השני של ניוטון:  $R \cdot F \cdot \alpha = I \cdot \alpha$

$$\alpha = \frac{F \cdot \boxed{\quad}}{\boxed{\quad}} \quad 8$$

מכאן:

$$\alpha = \frac{1}{\boxed{\quad} \cdot \boxed{\quad}} \cdot \boxed{\quad} \quad 9$$

$$\alpha = \frac{1}{\boxed{\quad}^2} \cdot \boxed{\quad} \quad 31.4$$

7.4

10 התאוצה הזוויותית  $\alpha$  שקיבלו היא שלילית כי היא (גדילה/מקטינה) את המהירות הזוויותית של האבן המשוחרת.

נתון:

$$\alpha = -\frac{1}{\Delta t} \frac{31.4}{\text{שניות}^2}$$

התאוצה הזוויותית של אבן המשוחרת  $\alpha = ?$

המהירות הזוויותית התחלתית של אבן  $\omega_0 = ?$

המהירות (בתחילת הפעלת F<sub>חכ</sub>)  $\omega = 0$

המהירות הזוויותית הסופית של אבן  $\omega = ?$

המהירות (האבן המשוחרת נעצרת)  $\omega = 0$

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

לפי ההגדרה של  $\alpha$ :

נציב את המספרים ונקבל עבור  $\omega$ :

$$\omega = \frac{1}{\Delta t} 157$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

מכאן ש:

$$f = \frac{\boxed{\quad}}{\boxed{\quad}}$$

11

$$f = \boxed{\quad}$$

12

$$n = 60f$$

$$n = \boxed{\quad} \quad \boxed{\quad}$$

13

$$n = \boxed{\quad}$$

14

מלאת את המשימה? פנה למורה לקבלת שקו בקרה!



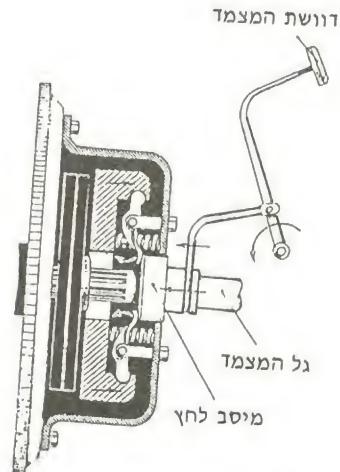
ש. מכ. ג. 4.

## ט. ה התגע היזוית ישימרו בಗלגולים מסתובבים

## בגזרת התנע היזוית בהשוואה לתנע הקוווי

בטכנולוגיה קיימות דוגמאות רבות להצמדה של גלגים מסתובבים. אחת הידועות שבן היא מערכת המצמד שבמכונית (ציר 123). תפקיד המצמד לחבר את גלגל התנופה המסתובב עקב פעולת המנוע אל גלגל ההנעה המוחבר אל גלגלי המכונית. גלגל התנופה של המנוע מתחבר אל גלגל ההנעה על ידי טס לחץ שתפקידו להדק את הגלגל המונע אל גלגל התנופה. כאשר לוחצים על דושת המצמד משחררים את טס החלץ, הגלגלים משתחררים זה מזה וגלגל התנופה מסתובב במנוף.

.1



צ'ור 123:

מערכת המצדד שבמכוניות.  
גלגל התונפה מוצמד לגלגל  
ההנעה על ידי טס הלחץ

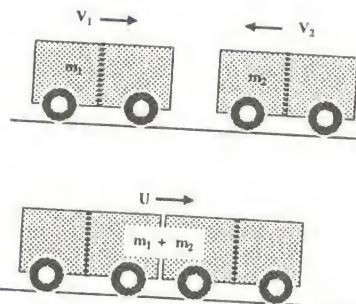
2

במצמד קיים תהליך של היצמדות שני גלגים בעלי ציר משותף. 2. לשני הגלגים מומנט התמדה I שונה ותדריות זוויתית ω שונה. לאחר מכן היצמדות מסתובבים שני הגלגים ב מהירות  $\dot{\omega}$  (קווית/זוויתית) אחת. באותה מהירות זוויתית נגם הסרון המניע את גלגלי המכונית.

2

באותן כללי מדובר על היצמדותם של שני גלגלים בעלי ציר משותף. לכל אחד מהם מומנט התמדת I שונה. כל אחד מהם מסתובב במהירות זוויתית ω שונה או שהאחד נח והשני מסתובב ונצמד אליו. השאלה המ提בוקשת היא מה תהיה מהירותם <sup>2</sup> (ההיקפית/הزوיתית) המשותפת של הגלגלים לאחר היצמדותם.

4



ציפור 124:

הتنגשות קווית פלטיטי בין  
שתי מסות. המסות שנעו  
במהירות התחוליות 1  
- V<sub>2</sub> גנות במשותף לאחר  
היצמדות ב מהירות U.

היכן נתקלנו בתופעה דומה של הייצמדות שני גופים זה זהה שלא רתתנוועה זוויתית?

ב-<sup>5</sup> מושופתת) U (ציור 124).  
וזו בزو ונו<sup>ת</sup>ות לאחר התנגשות ב מהירות 3 (נפרד/  
שתי מכוניות שמסותיהם  $m_1$  ו- $m_2$  ומהירותיהם  $v_1$  ו- $v_2$  מתנגשות  
דאי הינכם זוכרים את התנגשות הפלטית של שני גופים. למשל  
בתנועה זוויותית?

משותפת) U (ציור 124).  
— נ. נ. מסנווי במקילה את ה

כדי למצוא את המהירות המשותפת  $U$  רשםנו בפונקציה  $U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mV^2$  ומצאנו את הערך  $V = \sqrt{\frac{2U}{m}}$  ביחס לערך  $U$ 。

$$\text{כוח/תנע) הכלול הווה מינימום של שטח } \frac{V_1}{m_1} / m_1 V_1$$

למכונית השנייה היה תנע  $V_2$  m. התנוע הכלול שלhon היה

6. הסימנים של הביטויים הללו נקבעו לפי הLEVELS/MSOT רינוי המהירויות).

לפי חוק שימור <sup>1</sup> (האנרגיה/התנע), התנע הכלול שלפני ההתנגשות שווה לתנע של שתי המסות יחדיו, כאמור:  $U = (m_1 + m_2)V_1 + m_1V_2$ , כאשר  $U$  הוא כאמור מהירות המשותפת של המסות  $m_1$  ו-  $m_2$ .

בדומה לחוק שימור התנע הקווי קיים חוק שימור דומה לגבי גלגלים מסתובבים. בתנועה סיבובית יש גלים פיסיקליים שונים שבעזרתם אנו מבצעים את החישובים השוניים. במקומות תנע קווי  $V$  יש לנו תנע **זוויתי**.

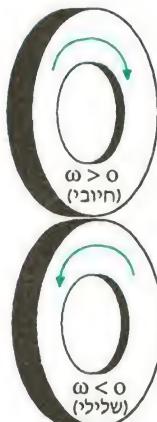
- מומנט ההתמדה I בתנועה סיבובית מחליף את המסה  $m$ .
- המהירות הזוויתית φ מחליף את המהירות הקוית  $V$ .

כלומר, במקומות תנע קווי  $V$  עבר תנועה בקו ישר, علينا לרשום תנע **זוויתי φ** עבר תנועה **סיבובית**.

**נסכם:**  
תנע זוויתי הוא המכפלה φ (מомנט ההתמדה מוכפל ב מהירות הזוויתית).



6. ומהירות יש כיוון. מהירות  $V$  של גור הנע ימינה מסומן בסימן **חיובי** ומהירות של גור הנע שמאלה מסומן בסימן <sup>2</sup> (שלילי).  
באותו אופן, המהירות הזוויתית φ של גלגל המסתובב עם **כיוון השעון** (ציר 125) מסומן **חיובי** וזו של גלגל המסתובב נגד כיוון השעון <sup>3</sup> (חיובי/שלילי).  
מכאן, תנע זוויתי של גלגל המסתובב עם כיוון השעון יהיה <sup>4</sup> (שלילי/חיובי) וזה של גלגל המסתובב נגד כיוון השעון יהיה <sup>5</sup> (שלילי/חיובי).



ציור 125: גלגל המסתובב עם כיוון השעון, מהירותו הזוויתית φ חיובית

galgal ha-mastobav um kivon ha-shuon, mahiruto zoavitit φ chiyobit

galgal ha-mastobav negd kivon ha-shuon, mahiruto zoavitit φ sheliliat

## 7. חוק שימור התנועה הזוויתית

את חוק שימור התנועה הזוויתית ניתן במצב של היצמדות שני גלגלים המסתובבים סביבו ציר, העובר במרכז המעגלים ומאונך להם. בדומה לחוק שימור התנועה הקווית בהתגשות פלسطית, יירשם חוק שימור התנועה הזוויתית בצהורה:

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega$$

$I_1$  ו-  $I_2$  הם מומנטי ההתמדה של הגלגלים.  $\omega_1$  ו-  $\omega_2$  הם מהירויותו הזוויתיות של הגלגלים לפני היצמדות.  $\omega$  מהירותו הזוויתית לאחר היצמדות.

נסכם:

חוק שימור התנועה הזוויתית בהיצמדות של שני גלגלים בעל ציר (דמויו) פשוט הוא:

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega$$



לפניך שני גלגלי תנופה הנתונים על גל משותף הניתן להצמדה (ציר 126). גלגל מס' 1 מסתובב בתדריות של 600 סל"ד ولو מומנט ההתמדה של 5 ק"ג · מ<sup>2</sup>.

גלגל השני מומנט התמדה של 3 ק"ג · מ<sup>2</sup> והוא נמצא במנוחה. מצמידים את שני גלגלי התנופה בעזרת המצמד. מהי התדריות המשותפת שלהם בסל"ד?

פתרון:

נתונים:

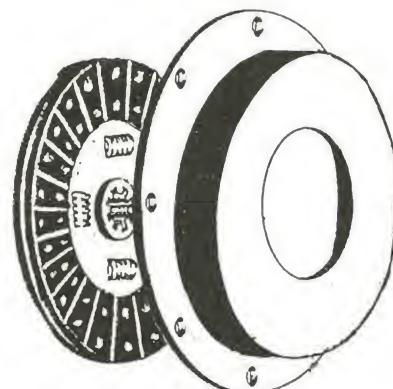
$$5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 = I_1 \text{ מומנט ההתמדה של גלגל תנופה 1}$$

$$I_2 = \boxed{\phantom{00}} \quad \boxed{\phantom{00}} \quad / \quad \text{מומנט ההתמדה של גלגל תנופה 2}$$

$$600 \text{ סל"ד} = I_1 \text{ תדריות הסיבוב של גלגל תנופה 1}$$

$$\frac{\text{סיבובים}}{\text{שניתה}} = I_1$$

$$f_2 = 0$$



ציר 126

גלגל תנופה בעל מומנט ההתמדה  
5 ק"ג · מ<sup>2</sup>

מסתובב בתדריות 600 סל"ד  
נצמד לגלגל אחר בעל מומנט

התמדה 3 ק"ג · מ<sup>2</sup> הנמצא  
במנוחה

תדריות משותפת  $n = ?$

2  
נשתמש בנוסחת חוק שימור התנועה \_\_\_\_\_ (הקווי/הزوויות):

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega$$

ההדריות  $\omega_2$  שווה לאפס נכון:

$$\omega_1 = 2\pi f_1$$

וּנְקַבֵּל:

$$I_1 \cdot 2\pi \cdot f_1 = (I_1 + I_2) \cdot 2\pi f$$

$$f = \frac{5 \cdot 10}{5 + 3} = \underline{\hspace{2cm}} = \frac{\text{סיבוביים}}{\text{שנייה}} \quad 7.5 \quad (3)$$

$$n = \underline{\hspace{2cm}} \quad 4$$

9. נסה להציג דרך המנצלת את חוק שימור התנועה הזוגית על מנת  
למוצאו מומנט התמדה של גלגל:



5

the people have been

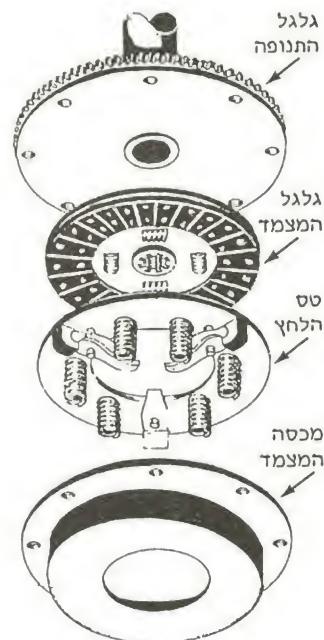
$$I_1 2\pi f_1 = (I_1 + I_2) 2\pi f$$

## 10. מצמד חז' דיסקי

תפקידו של המצמד (או ה-clutch) במכונית הוא לחבר את גלגל התנופה המופעל על ידי מנוע המכוונית לגלגל התנופה של המצמד. לאחר היצמדות של שני הגלגלים מתחבר גל הארכובה של המנוע עם מערכת הגלגלים המונעים את המכונית.

לפניך ציור של מערכת גלגל התנופה (צירור 127). תפקידו של טס החץ לבדוק את גלגל המצמד אל גלגל התנופה. הקפיצים המצוים על טס החץ לוחצים בכוח רב את גלגל המצמד אל גלגל התנופה.

כאשר מבקשים להפסיק את העברת התנועה הסיבובית מגלגל התנופה לגלגל המצמד, לוחצים על דושות המצמד (ראה צירור 123, סעיף 4.ה1). מיסב החץ משחרר את הקפיצים ואז משחרר גלגל המצמד מ \_\_\_\_\_ (טס החץ/גלגל התנופה). כדי שהייצמדות בין גלגל התנופה לגלגל המצמד תהיה איתנה, מצמידים שכבה זו גדולה במיוחד ולכן הוא גורם להיצמדות חזקה של שני הגלגלים ולפועלה מksamילית של גלגל התנופה.



צייר 127:  
מערכת המצמד במכונית

11. מסתו של גלגל תנופה מוצע במכונית פרטית היא בערך 6 ק"ג ורדיוסו 0.2 מטר. מומנט ההתמדה  $I_1$  שלו הוא:

$$I_1 = \frac{1}{2} MR^2$$

$$I_1 = \frac{1}{2} \cdot \underline{\quad} \cdot \underline{\quad} \quad (2)$$

$$I_1 = 0.12 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$$

מסת גלגל המצמד עם טס החץ היא בערך 4 ק"ג. רדיוסו של גלגל המצמד זהה זו של גלגל התנופה. מכאן, מומנט ההתמדה  $I_2$  של גלגל המצמד עם הטס הוא:

$$I_2 = \frac{1}{2} M_2 R^2$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \cdot \underline{\quad} \cdot \underline{\quad} \quad 3$$

$$I_2 = \underline{\quad} \cdot 0.08 \quad 4$$

12. תדירות סיבוב המנווע של המכונית המוזכרת בסעיף הקודם, ולכון גם של גלגל התנופה שלו, היא 900 סל"ד. מהי תדירות הסיבוב של המערכת בעת הייצמדות הגלגלים?

פתרונות:

נתונים:

$$0.12 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 = I_1 \text{ מומנט ההתמדה של גלגל התנופה}$$

$$0.08 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 = I_2 \text{ מומנט ההתמדה של גלגל המצמד}$$

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 900 \text{ מהירות זוויתית של גלגל התנופה}$$

$$n = ? \text{ התדירות המשותפת של שני הגלגלים}$$

לפי חוק שימור התנועה הזוויתית:

$$I_1\omega_1 = (I_1 + I_2)\omega$$

$$\omega = \frac{I_1\omega_1}{I_1 + I_2}$$

$$\omega = \frac{I_1\omega_1}{I_1 + I_2} \quad (5)$$

$$\omega = 2\pi \cdot 540$$

$$n = 540 \text{ סל"ד}$$

נשים לב כי בגלגל השווין שבין התנעים, אין צורך לשנות את היחידות של התדריות. כלומר, התדירות  $n$  האמורה לעבור לטיבת הילוקים קטנה ל  $\frac{6}{6}$  סל"ד.

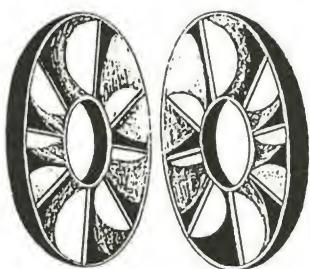
13. את התדרות של גלגל התנופה ניתן להגביר על ידי לחיצה על דושת הבניין והגדלת מספר סיבובי המנווע. הצמדת הגלגלים בתדריות גבוההות גורמת במשך הזמן להקטנת החיכוך שביניהם ולהחלשת ההצמדה. זהו מצב שבו יש "בעיות" עם ה-clutch.

#### 14. מצמד הידראולי

המצמד הידראולי (ציוויל 128) פותר את בעיית החיכוך שבין הגלגלים. יתר על כן, הוא מונע עזוזעים בשעת הצמדת המצמד. כמו כן, עלייה ב מהירות הרכב נעשית הדרגתית יותר בזמן לחיצה על דושת הבנזין.

מצמד הידראולי בניוי משני גלגלים מחורצים הדומים במבנה שלהם גלגלי טורבינה ובניהם נמצא שמן (ציוויל 129). גלגל התנופה מחובר לגלגל פעיל המשתובב באוטה תדריות של גלגל התנופה ולגלגל סביל המונע על ידי השמן. השמן יוצר מומנט כוח על הגלגל הסביל. הגלגל הסביל מלא את תפקידו של גלגל המצמד ומתחליל להסתובב. גם כאן מתקיים חוק שימור התנע הזרוייתי, אלא שהפעם המהירות הזרוייתית המשותפת לא נוצרת בעקבות חיכוך אלא על ידי התנועה הסיבובית של השמן.

השמן, כמו שני הגלגלים, מגיע ל מהירות זוויתית אחת שהיא השמן, (קטנה/גדולה) יותר מאשר המהירות הזרוייתית של גלגל התנופה.



ציוויל 128:  
גלגלים מחורצים המשמשים  
לבנייה מצמד הידראולי

#### 15. פתח אנציקלופדיה בריטניקה לנער כרך יי', שנת הוצאה 1977, בערך

מצמד' שבעמ' 182, וענה על השאלות שלפניך:



1. מהם תפקידו של המצמד במכונית?

①

\_\_\_\_\_

2. במה מצופה גלגל המצמד ומדוע?

②

\_\_\_\_\_

3. מה קורה כאשר הנהג לוחץ על דושת המצמד?

③

\_\_\_\_\_

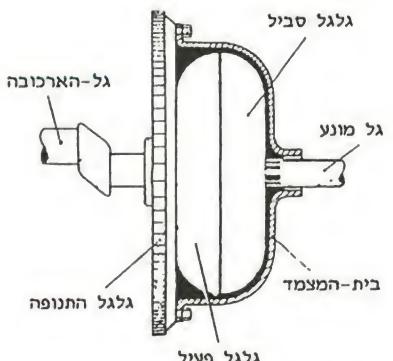
4. מה קורה כאשר הנהג משחרר את דושת המצמד?

④

\_\_\_\_\_

5. מהו מצמד אוטומטי וכייזד הוא פועל?

⑤



ציוויל 129:  
מצמד הידראולי

## נסכם:

בפרק זה הכרנו מושגים מתחום התנועה הסיבובית. ראיינו כי בתנועה זאת מומנט ההתמדה  $I$  מחליף את המסה שבתנועה בקו ישר. הראיינו כי החוק השני של ניוטון בתנועה סיבובית נכתב בצורה הבאה  $\alpha \cdot I = R \cdot F$ .  $F$  הוא מומנט הכוח ו- $\alpha$  היא התואצת הזוויתית. הכרנו את מושג התנועה הזוויתית בהצמדה של שני גלגלי תנופה. ראיינו כיצד מימושים את החוק השני של ניוטון ואת שימוש התנועה הזוויתית בתחום הטכנולוגיה.



סיימת עתה את פרק 4. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק ובדוק אם אכן הושגו.  
ענה על השאלות שלפניך:



1. מהו מומנט ההתמדה?

(1)

במה תלוי מומנט ההתמדה של גלגל תנופה, וכייז?

(2)

3. רשם את החוק השני של ניוטון בגלגליים מסתובבים וסבירו אותו.

(3)

4. הסבר את פועלתו של גלגל תנופה בעזרת מומנט כוח.

(4)

5. הסבר באופן פיזיקלי את האת המשוחזר בסדנה.

(5)

6. מהו תנועה זוויתית?

(6)

7. הסבר את שימושו של התנועה הזוויתית בהיצמדות של שני גלגלי תנופה.

(7)

8. מה ההבדל בין מצמד רגיל למצמד הידראולי?

①

---

---

---

---

אם החומר ידוע לך היטב פנה למורה כדי לקבל הדרכה לkrarat המבחן.



נספח

נתון מישור משופע בעל זווית נטייה  $\alpha$ .

כוח הכבוד  $W$  מתרחק לשני רכיבים  $x$   $W$  מקביל למדרון ו-  $y$   $W$  מאונך לו. לצורך הראות כי הזוגית ' $\alpha$ ' שבין השוקיים  $W$  ו-  $y$   $W$  שווה ל-  $-\alpha$ .

## הוכחה:

הزوויות ב-ז הן קודקודיות.

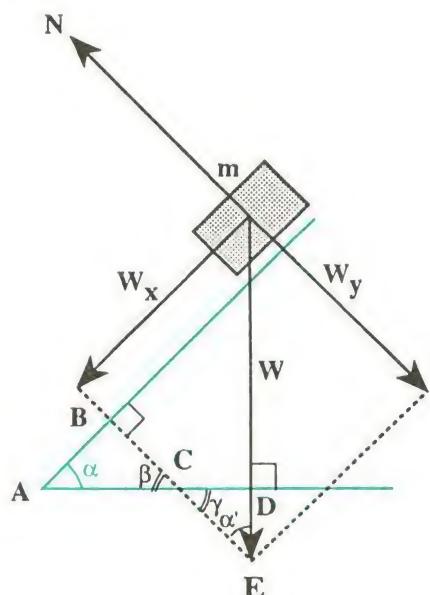
לכן  $\gamma = \beta$

המשולשים C D E ו- A B C ישרי זווית.

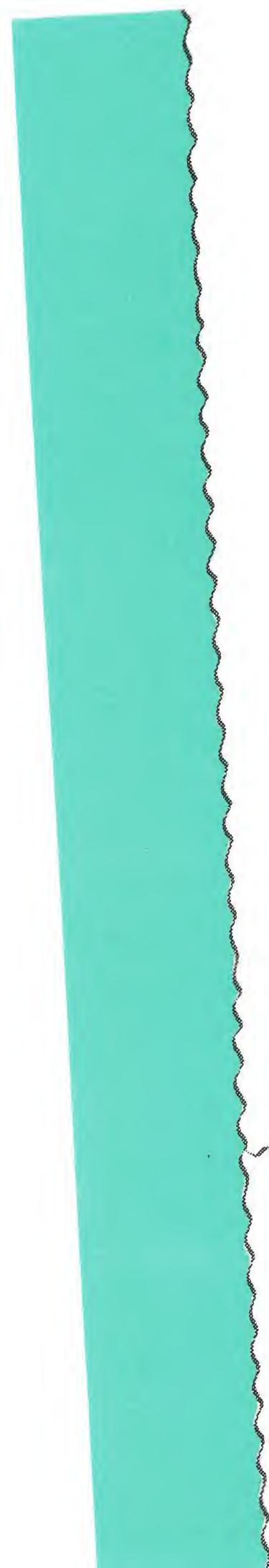
מכאן  $\alpha$  משלימה את  $90^\circ$ , ו- $\alpha$  משלימה את  $\beta$   $90^\circ$ .

כאמור  $\gamma = \beta$

לכן  $\alpha = \alpha'$







# תרגילי חזרה

---



## תרגולי חזרה לפרקים 1, 2

בשאלות רב-ברירתיות יש לסמן בעיגול את התשובה הנכונה.

1. גוף בעל מסה  $m$  נע בתנועה שווה מהירות ובקו ישר. שקול הכוחות הפעילים עליו שווה ל-:

א.  $ma$   
 ב. אפס  
 ג.  $N\cdot m$   
 ד.  $W$  (משקל הגוף)

1

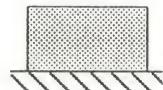
2. גוף בעל מסה  $m$  נע בתנועה שווה תאוצה  $a$  ובקו ישר. שקול הכוחות הפעילים עליו שווה ל-:

א. אפס  
 ב.  $ma$   
 ג.  $N\cdot m$   
 ד.  $\mu\cdot mg$

2

3. גוף בעל מסה  $5 \text{ ק"ג} = m$  נמצא במנוחה על מישור אופקי חלק.

א. צייר על הגוף, לפי קנה מידה, את הכוחות הפעילים עליו.



3

ב. הגוף נמצא \_\_\_\_\_ (במנוחה/בתנועה שווה תאוצה/בתנועה שווה מהירות) כי כוח השקול

הפעיל עליו שווה ל-  $\frac{4}{4}$  (50 ניוטון/0.25 ניוטון).

ג. מפעילים על הגוף כוח בן 20 ניוטון בכיוון ימינה.

חשב את התאוצה של הגוף.

5

4. למטוס בעל מסה של 360 טון, דרישה מהירות מינימלית של  $90 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  כדי להמריא מעל פני הקרקע.

א. חשב את התאוצה הקבועה שפתח המטוס, אם הוא מSIG מהירות זו ב-10 שניות?

6

ב. חשב את אורך המסלול שעבר המטוס עד להמריאתו.

7

ג. חשב את כוח השקול (המעשי) שפועל על המטוס בזמן המראתו.

8

5. על מזחלה שלג שמסתו 30 ק"ג פועל כוח אופקי של 45 ניוטון. הזנה את כוח החיכוך בין המזחלה לבין המשטח.  
א. חשב את תאוצת המזחלה.

1

---

ב. הכוח פועל במשך 3 שניות. חשב את הדרך שעברה המזחלה בזמן זה.

2

---

ג. חשב את מהירות המזחלה, כאשר הכוח הפסיק לפעול.

3

6. המכנה של הצנחים נפתח באופן אוטומטי לאחר שלוש שניות. תנועתו של הצנחן במשך זמן זה היא:  
א. תנועה שותת מהירות.  
ב. תנועה שותת תאוצה.  
ג. נפילה חופשית.  
ד. זריקה אנכית כלפי מעלה.

4

7. הכוח השקול (המעשי) הפועל על צנחן שמסתו 70 ק"ג במשך שלוש השניות הראשונות, הוא:  
א. אפס.  
ב. 70 ניוטון.  
ג. 700 ניוטון.  
ד. 10 ניוטון.

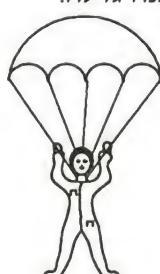
5

---

8. חשב את מהירותו של צנחן ברגע שנפתח המכנה, שלוש שניות לאחר צנחתו החופשית.

6

9. עם פתיחת המכנה מפעיל האוויר כוח התנגדות הולך וגדל ככל שמהירות המכנה גדלה.  
א. צייר, לפי קנה מידה, את הכוחות הפעילים על הצנחן.



---

ב. חשב את הכוח השקול הפועל על צנחן בעל מסה 80 ק"ג, כאשר כוח התנגדות האוויר שווה ל-350 ניוטון.

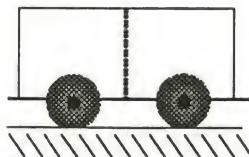
7

ג. חשב את התאוצה של הצנחן.

1

10. על קרונית שمسטה 4 טון פועל כוח בן 8000 ניוטון. כוח החיכוך הוא 2000 ניוטון.

א. ציר על הקרונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



ב. חשב את התאוצה של הקרונית.

2

11. מכונית שמסטה 1 טון נמצאת במנוחה בראש מדרון חלק. הблם משתחרר והמכונית נעה כלפי מטה.

א. חשב את תאוצת המכונית בmorוד המדרון, אם השגינה מהירות של  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  לאחר 10 שניות.

3

ב. ציר על המכונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



4

ג. חשב בעזרת המחשבון המדעי את זווית המדרון  $\alpha$ .

5

12. מכונית צעכע שמסטה 0.5 ק"ג נמצאת בראש מדרון שזווית השיפוע שלו  $30^\circ = \alpha$ . מקדם החיכוך בין

השטח למכונית 0.2.

א. ציר על המכונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



6

ב. חשב את כוח הנורמל שפעיל המדרון על המכונית.

7

ג. חשב את הכוח השקול (המעשי) שפועל על המכונית.

1

ד. חשב את התאוצה של המכונית במודרן המדרון.

2

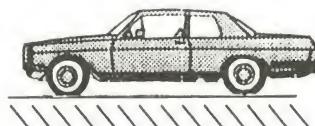
ה. חשב את אורך המדרון אם המכונית הגיעו לאחר 1.5 שניות לתחתיות המדרון.

3

13. מכונית צעוזע שمسתה 1.5 ק"ג נעה על מישור אופקי בעל מקדם חיכוך 0.2.

ברגע שהמנוע כבב מהירות המכונית שווה ל- 2.5 מטר/שניה.

א. צייר, לפי קנה מידה, את המכונית ואת הכוחות הפעולים עליה, לאחר כיבוי המנוע.



ב. חשב את גודל תאומות המכונית.

5

ג. חשב כמה זמן תנועה המכונית עד לעצירתה.

6

14. כדור הארץ מסתובב סביב צירו כל 24 שעות. רדיוסו 6,400 ק"מ.

א. מהו זמן המחזורי של סיבוב כדור הארץ סביב צירו?

7

ב. חשב את תדיות סיבוב כדור הארץ סביב צירו.

8

ג. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$  את מהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על קו המשווה.

9

15. לפניך טבלה של תדריות מקסימליות, או זמני מוחזר מזעריים, של מכשירי סדנה שונים. מלא את המשכזזות הריקות שבטבלה.

מכשיר	(סל"ד) n	(סיבובים) f שניהם	(שניות) T
מקדחה	3000	1	2
מחרתה	3	40	4
carsomat	5	6	0.04

16. תדרות הסיבוב של אבן משחזה היא  $2400 \frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}}$ . רדיוסה של האבן 10 ס"מ. א. חשב בשניות את זמן המוחזר של אבן המשחזה.

7

ב. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}}$  את מהירות היקפית של נקודה הנמצאת על היקפה החיצוני של האבן.

8

17. כדור שמסתו 2 ק"ג נעה במעגל שרדיווסו 2 מטר ובמהירות היקפית קבועה של  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}}$ .

א. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}^2}$  את התאוצה הרדיאלית הפעלת על הכדור.

9

ב. חשב בניוטון את הכוח F השקול (המעשי) הפעול על הכדור.

10

18. יلد רץ במעגל שרדיווסו 5 מטר, והוא משלים בקצב קבוע סיבוב אחד כל 10 שניות.

א. חשב את תדרות הסיבוב של הילד.

11

ב. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}}$  את מהירות היקפית של הילד.

12

ג. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שניהם}^2}$  את התאוצה הרדיאלית הפעלת על הילד.

13

ד. חשב בניוטון את הכוח F השקול (המעשי) הפעול על הילד, אם מסתו היא 50 ק"ג.

14

19. א. כאשר מכונית נעה בתנועה מעגלית על כביש אופקי, הכוח השקול (המעשי) המונע את החלקה הוא 1 (כוח הנורמל/משקל המכונית/כוח החיכוך).

ב. חשב בינויו את כוח החיכוך הדורש למכונית כדי שתנועה מעגלית, על כביש אופקי, במהירות של 54 ק"מ/שעה.  
רדיוויס המעלג הוא 0.750 ק"מ ומסת המכונית - 1 טון.  
2

---



---



---

20. א. כדי למנוע החלקה של כלי רכב בסיבובים, מגביהים את השוללים החיצוניים של הכביש. הכוח השקול (המעשי) המונע החלקה הוא 3 (כוח הנורמל/משקל המכונית/הרכיב האופקי של כוח הנורמל).

ב. ציר על המכונית שbezior את הכוחות הפעילים עליה. המכונית נמצאת על כביש מוגבה.



4

ג. הרכיב של כוח הנורמל הפעיל על המכונית שbezior והמכoonן למרכז הסיבוב הוא 750 ניוטון =  $N_R$ . מסת המכונית 0.5 טון.

חשב את מהירות ההיקפית של המכונית ב- 5 מטר/שניה אם רדיוויס הסיבוב הוא 100 מטר.

---



---



---

21. הלוויין אופק מסתובב במרחק 800 ק"מ מעל פני כדור הארץ.

ערכו של g, תואמת כדור הארץ, בגובה זה הוא 6 מטר/שניה<sup>2</sup>.

מסתו של הלוויין היא 500 ק"ג. רדיוויס כדור הארץ 6400 ק"מ.

א. חשב בינויו את הכוח השקול (המעשי) הפעיל על הלוויין בגובה זה.  
6

---



---



---

ב. חשב ב- 7 מטר/שניה את מהירות ההיקפית של הלוויין.

---



---



---

ג. חשב בשניות את זמן המחזור של הלוויין.  
8

## תרגילי חזרה לפרקים 3, 4

בשאלות רב-ברירתיות יש לסמן בעיגול את התשובה הנכונה.

1. התנע הוא:

- א. מכפלת הכוח שפועל על גוף בזמן פועלתו.
- ב. מכפלת המסה של גוף בתאוצתו.
- ג. מכפלת המסה של גוף ב מהירותו.
- ד. מכפלת מהירות של גוף בזמן.

}

2. ייחידת התנע היא:

- א.  $\frac{\text{ק"מ} \cdot \text{ニュטון}}{\text{שעה}}$
- ב.  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}}$
- ג. ניוטון · שנייה
- ד.  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$

}

3.

חשב את התנע של קליע ברגע שהוא יוצא מלוע האקדח, אם מסתו 4 גרם ומהירותו  $500 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

3

---



---



---

4.

קליע שמסתו 5 גרם נורה לתוך שק שמסתו 995 גרם.

מהירות השק עם הקליע לאחר הפגעה היא  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

א. חשב את התנע הכולל של השק עם הקליע.

4

---



---



---

4

5

5

6.

על סמך חוק שימור התנע, מהו התנע של הקליע לפני ההתנגשות?

---



---



---

6

6

7.

חשב את מהירות הקליע לפני ההתנגשות בשק.

---



---



---

6

6

8.

התנגשות זו של הקליע בשק נקראת התנגשות 7 (פלסטית/אלסטית) בغال 8 (שכו/  
שלא) נוצרת בה אנרגיית חום.

5. קרון רכבת ריק שמסתו 3 טון נע על מסילה בכוון שמאל ובמהירות  $4 \frac{\text{מטר}}{\text{שניה}}$ . קרון שני עם מסתו 6 טון נע לכיוונו. לאחר ההתנגשות נעצרו שני הקרונות.  
א. חשב את התנוע של הקרון הריק לפני ההתנגשות.

ב. מהו התנוע הכלול של שני הקרונות לאחר ההתנגשות?

2

ג. חשב את מהירות הקרון העמוס לפני ההתנגשות?

3

6. ההתנגשות פלסטית היא ההתנגשות שבה:

א. נוצר חום.  
ב. נועת המסות המתנגשות ייחדו לאחר ההתנגשות.  
ג. קיימת המשווה:  $m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V$   
ד. כל התשובה נכונות.

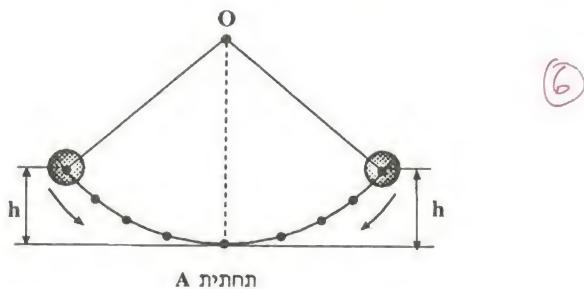
4

7. הנעת הטילים מבוססת על:

א. חוק המשיכה העולמית.  
ב. חוק שימור התנוע.  
ג. חוק שימור הלחצים.  
ד. העברת הלחצים בגזים.

5

8. במתיקן המשמש את הניסוי מכ-41 מושחררים, משני צדי המתיקן ומאותו גובה, שני כדורים בעלי אותה מסה. ראה סרטוט.



תניי ה כדורים בתחתית A ב מקרה זה יהיה:

א. שווים בערכם המוחלט אך סימנם הפוך.  
ב. שונים בערכם המוחלט אך באותו סימן.  
ג. שונים בערכם המוחלט אך סימנם הפוך.  
ד. שווים בערכם המוחלט אך באותו סימן.

7

9. חץ שמסתו 60 גרם נורה ב מהירות  $90 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  וונגע בתפוח שמסתו 240 גרם, הנמצא במנוחה. החץ והתפוח ממשיכים לנوع ביחד.

א. חשב את התנוע של החץ לפני נעיצתו בתפוח.

---



---



---

(1)

ב. חשב את מהירותם המשותפת של החץ והתפוח.

---



---



---

(2)

10. כדור שמסתו 5 ק"ג נע ב מהירות  $36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  בכיוון ימינה, בעקבות כדור שני שמסתו 2 ק"ג שנע ימינה ב מהירות  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . לאחר ההתנגשות האלסטית, הכדור הראשון נע ימינה ב מהירות  $8 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$ .

א. חשב ב-  $\frac{\text{ק"ג}}{\text{שנייה}} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את התנוע של הכדור הראשון לפני ההתנגשות.

---



---



---



---



---

3

4

11. מהירות זוויתית של נקודה הנמצאת על גלגל מסתובב היא:

א. מהירות של הגלגל.  
 ב. הזווית שמתאר הרדיוס בשנייה אחת.  
 ג. הזווית שמתאר הרדיוס בסיבוב אחד.  
 ד. מהירות של הנקודה כשהיא מתארת זווית  $90^\circ$ .

5

12. היחידה של המהירות הזוויתית היא:

א.  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$   
 ב.  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$   
 ג.  $\frac{1}{\text{שנייה}}$   
 ד.  $\text{שנייה} \cdot \text{מטר}$

6

13. גלגל מכונית שרדיוiso 20 ס"מ מסתובב בתדריות של 1500 סל"ד.

א. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את מהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על היקף הגלגל.

---

---

---

---

14. תאוצה זוויתית של נקודה הנמצאת על גלגל מסתובב היא:

א. שינוי מהירות ההיקפית במשך שנייה אחת.  
ב. תוספת מהירות הזוויתית לאחר סיבוב אחד.  
ג. תוספת מהירות ההיקפית לאחר סיבוב אחד.  
ד. שינוי מהירות הזוויתית במשך שנייה אחת.

15. גלגל מכונית שרדיוiso 20 ס"מ מסתובב בתדריות של 600 סל"ד. תדרותו גדלה ל-1200 סל"ד תוך 10 שניות.

א. חשב ב-  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$  את התאוצה הזוויתית של הגלגל.

---

---

---

---

16. חשב ב- ק"ג · מטר<sup>2</sup> את מומנט החתmdה של גלגל מלא ו אחיד אם מסתו 3 ק"ג ורדיוiso 20 ס"מ.

---

---

17. מסתו של גלגל התנופה של גנרטור היא 10 ק"ג ורדיוiso 0.2 מטר.

א. חשב את מומנט החתmdה של הגלגל.

---

---

---

---

---

---

---

---

ג. חשב בনיוווטון את הכוח שהופעל על החבל הכרוך על גבי גלגל התנופה.

---

---

---

18. אבן משחזה שمسתה 2 ק"ג ורדiosa 20 ס"מ נעצרת במשך 4 שניות, כאשר מופעל עליה כוח חיכוך של 12.56 ניוטון.

א. חשב את התאוצה הזוויותית של אבן המשחזה.

---

---

---

ב. מה משמעות הסימן השלילי שקיבלה עבורי התאוצה?

3

---

---

---

ג. חשב את התדריות - סיבובים ובסיל"ד של אבן המשחזה לפני הפעלתו של הכוח.

4

---

---

---

19. דיסקה שרדiosa 1 מטר ומסתה 2 ק"ג יכולה לנוע באופן חופשי על ציר אופקי במרכזו.

כוח קבוע של 5 ניוטון המשיק לדיסקה גורם לסיבובה.

א. חשב את מומנט ההתמדה של הדיסקה.

5

---

---

---

---

---

---

20. שני גלגלי תנופה נתונים על גל משותף הניתן להצמדה.

גלגל אחד, שמסתו 5 ק"ג ורדיאסו 1 מטר, מסתובב בתדריות של 300 סל"ד. גלגל שני, שמסתו 3 ק"ג ורדיאסו 1 מטר, נמצא במנוחה.

א. חשב את מומנט ההתמדה של שני הגלגלים.

7

---

---

---

---

ב. מצמידים את שני גלגלי התנופה בעורת מצמד.

חשב את התדריות המשותפת שלהם.

8

---

